

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Механіко-машинобудівний інститут**

**Кафедра «Інтегровані технології машинобудування»**

«На правах рукопису»  
УДК 621.9

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ В.А.Пасічник  
(підпис)  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_  
р.

**Магістерська дисертація  
на здобуття ступеня магістра**

зі спеціальності 133 – галузеве машинобудування  
(код і назва)

на тему: Фреза збірна черв'ячна з непереточуваними твердосплавними пластинами

Виконав (-ла): студент (-ка) 6 курсу, групи МІ-71мп  
(шифр групи)

Скляр Роман Олександрович \_\_\_\_\_  
(підпис)

Науковий керівник: д.т.н., доцен Охріменко О. А. \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант \_\_\_\_\_  
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, , прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2018 року

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут (факультет) Механіко-машинобудівний

Кафедра «Інтегровані технології машинобудування»

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність 133 – галузеве машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ В.А.Пасічник

(підпис)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію студенту**

Скляру Роману Олександровичу

1. Тема дисертації: Фреза збірна черв'ячна з непереточуваними твердосплавними пластинами

науковий керівник дисертації: Охріменко Олександр Анатольович д.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. № \_\_\_\_\_

2. Термін подання студентом дисертації \_\_\_\_\_

3. Об'єкт дослідження: черв'ячні зубонарізні збірні фрези  
\_\_\_\_\_

4. Предмет дослідження: процес зубофрезерування зубчастих коліс під подальше зубошліфування

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: Проаналізувати формоутворення профілю зубчастих коліс під зубошліфування, згідно завдання; розрахувати вихідний інструментальний контур для обробки профілю зубчастого колеса під

попереднє зубошліфування; розробити конструкцію збірної черв'ячної фрези для оброблення зубчастого колеса під попереднє зубошліфування.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

7. Орієнтовний перелік публікацій \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

8. Консультанти розділів дисертації\*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз формоутворення зуб. коліс	29.10-03.11	
2	Розрахунок вихідного інстр. контуру	05.11-16.11	
3	Аналіз формоутворення черв'ячними фрез.	19.11-30.11	
4	Розробка конструкції черв'ячної фрези	03.12-10.12	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (ініціали, прізвище)

\* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

### **Анотація**

Дисертація на здобуття наукового ступеня магістра за спеціальністю 133 - галузеве машинобудування – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського». – Київ, 2018.

На основі аналізу проведеного дослідження, впливу параметрів вихідного інструментального контуру збірної черв'ячної фрези, на формоутворення профілю зуба колеса, була запропонована удосконалена конструкція збірної черв'ячної фрези з непереточуваними твердосплавними пластинами стандартної форми. Був проведений розрахунок її геометричних параметрів, та був досліджений вплив на формоутворення зуба з викружкою на зубчастому колесі для подальшого зубошліфування, що дало позитивний результат.

**Ключові слова:** зубчасті колеса, черв'ячна фреза, протуберанець, стандартні пластини.

## **Abstract**

The dissertation in support of candidature for the Master`s degree in specialty 133 – Industrial engineering – National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute of I. Sikorsky”. – Kyiv, 2018.

Based on the analysis of the conducted research, which is the characteristics influence of the instrumental final edge of the stack-mounted hob cutter on the formation of the side-drawn tine of wheel, we proposed the developed construction of the stack-mounted hob cutter with regular-acting carbide blade. In addition, we conducted the calculation of its geometrics and examined the influence on the formation of the tine with circular cutting on the gear wheel for the farther gear grinding. The above mentioned research work have had positive results.

**The key words:** gear wheel, hob cutter, protuberance, regular-acting carbide blade.

## **ЗМІСТ**

<b>Вступ .....</b>	<b>7</b>
<b>Розділ 1. Аналіз особливостей та технологій виготовлення зубчастих коліс під зубошліфування</b>	
1.1 Технічне завдання та його аналіз .....	8
1.2 Особливості зубчастих коліс отримуваних зубошліфуванням .....	12
1.3 Конструкції збірних черв'ячних фрез для формоутворення профілю під подальше зубошліфування .....	16
1.4 Задачі .....	24
<b>Розділ 2. Аналіз формоутворення черв'ячними фрезами</b>	
2.1 Аналіз формоутворення реєчним інструментом профіля зубчастого колеса .....	25
2.2 Опис профілю вихідного контуру фрези .....	29
2.3 Аналіз формоутворення профілю зубчастого колеса .....	35
<b>Розділ 3. Конструкція черв'ячної фрези</b>	
3.1 Розрахунок основних геометричних параметрів фрези .....	70
3.2 Побудова моделі фрези .....	74
<b>Розділ 4. STARTUP: Збірна черв'ячна фреза зі твердосплавними пластинами стандартної форми .....</b>	<b>90</b>
<b>Висновки .....</b>	<b>91</b>
<b>Перелік посилань .....</b>	<b>92</b>
<b>Додатки.....</b>	<b>93</b>

## ВСТУП

### *Актуальність роботи.*

Зубчасті колеса застосовуються в машинобудуванні для передачі крутного моменту або перетворення обертального руху в різних механізмах. Зокрема великий коефіцієнт корисної дії, точність, можливість контролювати швидкість руху, дали змогу використовувати їх у силових передачах редукторів тепловозів.

Виготовити зубчасті колеса можна в одиничному виробництві, за допомогою дискової фрези, довбача, рейки, а в масовому виробництві за допомогою методу черв'ячного зубофрезерування.

**Мета і задачі дослідження.** Розробити прогресивну конструкцію збірної черв'ячної фрези зі твердосплавними непереточуваними пластинами стандартної форми, яка буде мати покращену геометрію різальної частини, для формоутворення профіля зубу колеса (модулем  $m = 10$  мм, кількістю зубів  $Z_k = 17$ , коефіцієнтом зміщення  $x = 0.505$ ) з викружкою біля ніжки зуба, для подальшого зубошліфування.

Задачі дослідження:

1. Дослідити формоутворення реєчним інструментом профілю зубчастого колеса (модулем  $m = 10$  мм, кількістю зубів  $Z_k = 17$ , коефіцієнтом зміщення  $x = 0.505$ ), яке призначене для подальшого зубошліфування.
2. Визначити вплив параметрів рейки з протуберанцем на профіль западини зубчастого (модулем  $m = 10$  мм, кількістю зубів  $Z_k = 17$ , коефіцієнтом зміщення  $x = 0.505$ ), призначеного для подальшого зубошліфування.
3. Розробити та побудувати модель прогресивної конструкції збірного зубчастого колеса зі твердосплавними пластинами стандартної форми.

# РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТА ТЕХНОЛОГІЙ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС ПІД ЗУБОШЛІФУВАННЯ

## 1.1 Технічне завдання та його аналіз

Розробити конструкцію збірної черв'ячної фрези для обробки профілю зубчастого колеса під подальше зубошліфування (рис. 1.1).

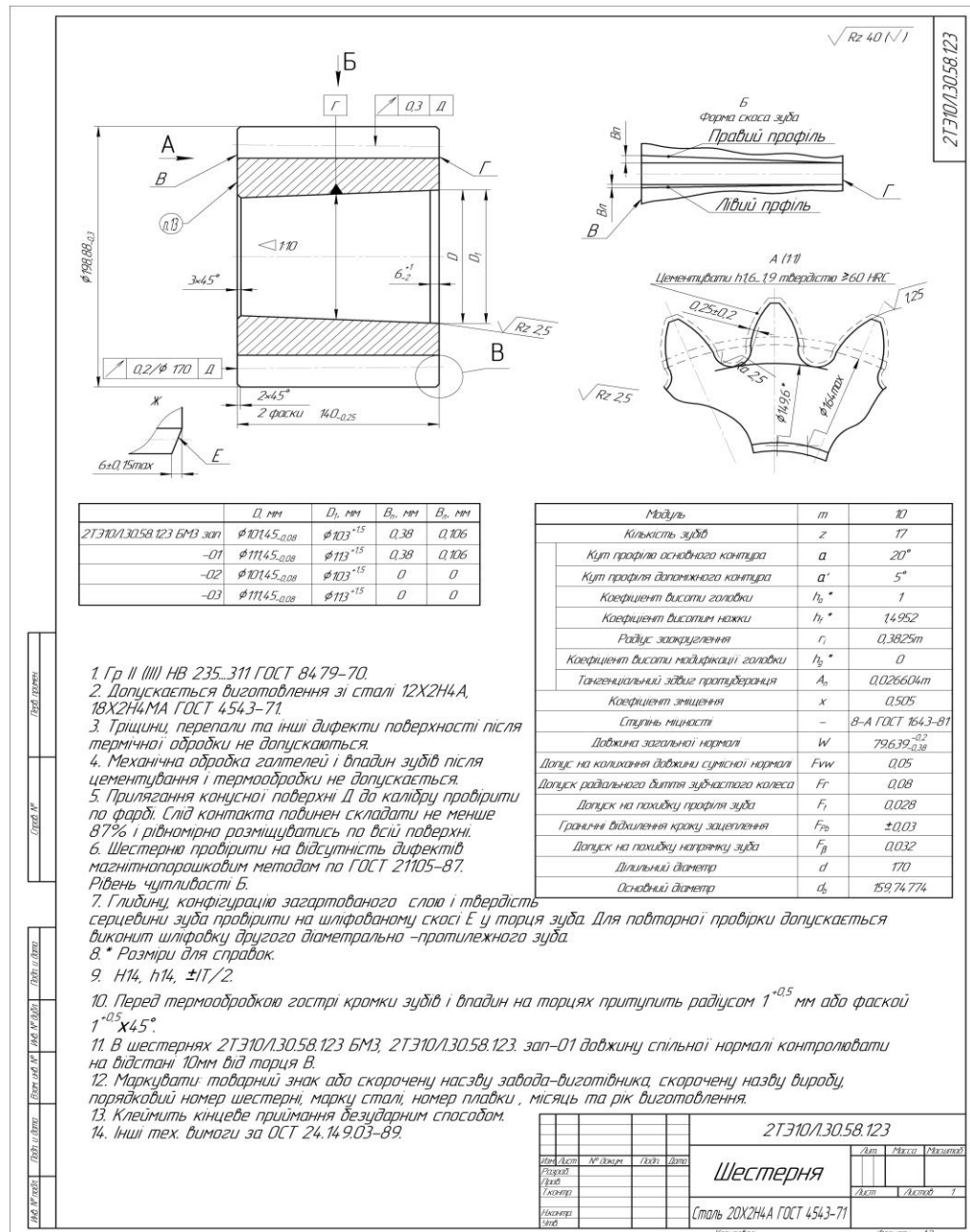


Рисунок 1.1 – Робоче креслення зубчастого колеса  $m = 10$  мм,  $z = 17$



Деталь шестерня «2ТЭ10Л.30.58.123» використовується у головному приводі тепловоза, для передачі крутного зусилля в редукторі. Основними параметрами даного зубчастого колеса є:

Модуль – 10 мм;

Кількість зубів – 17;

Кут профілю основного контуру -  $20^\circ$ ;

Напрямок зубів – прямий;

Коефіцієнт зміщення – 0.505;

Ділильний діаметр – 170 мм;

Ступінь міцності – 8-А ГОСТ 1643-81;

Довжина загальної нормалі –  $79,632^{+0,2}_{-0,38}$  мм.

Особливостями даного зубчастого колеса є те, що воно виконується методом зубошліфування, термічна обробка – цементация. Реалізується без продовжної модифікації профілю зуба (рис 1.1 - 2ТЭ10Л.30.58.123-02; -03).

Розрахунок основних геометричних параметрів зубчастого колеса (рис 1.2):

-  $m = 10$  – модуль;

-  $Z = 17$  – кількість зубів;

-  $x = 0.505$  – коефіцієнт зміщення;

-  $\alpha_0 = 20^\circ$  – кут профілю вихідного основного контуру;

-  $L = 79.639$  мм – довжина загальної нормалі;

-  $ESL = -0.2$  мм – верхнє відхилення загальної нормалі;

-  $EIL = -0.38$  мм- нижнє граничне відхилення загальної нормалі;

-  $ZL = 3$  – кількість зубів загальної нормалі;

Радіус основного кола зубчастого колеса:

$$r_b = 0.5 \cdot m \cdot z \cdot \cos \alpha_0 = 79.873 \text{ мм}; \quad (1.1)$$

Радіус ділильного кола:

$$r_d = m \cdot \frac{z}{2} = 85 \text{ мм}; \quad (1.2)$$

Радіус вершин зубів колеса:

$$r_a = r_d + m + x \cdot m = 100.05 \text{ мм}; \quad (1.3)$$

Радіус западини зубів колеса

$$r_f = r_d - 1.4952 \cdot m + x \cdot m = 75.098 \text{ мм}; \quad (1.4)$$

Кількість зубів на повному кроці:

$$k_0 = ZL - 1 = 2; \quad (1.5)$$

Верхнє граничне відхилення загальної нормалі:

$$L_{\max} = L + ESL = 79.619 \text{ мм}; \quad (1.6)$$

Нижнє граничне відхилення загальної нормалі:

$$L_{\min} = L + EIL = 79.259 \text{ мм}; \quad (1.7)$$

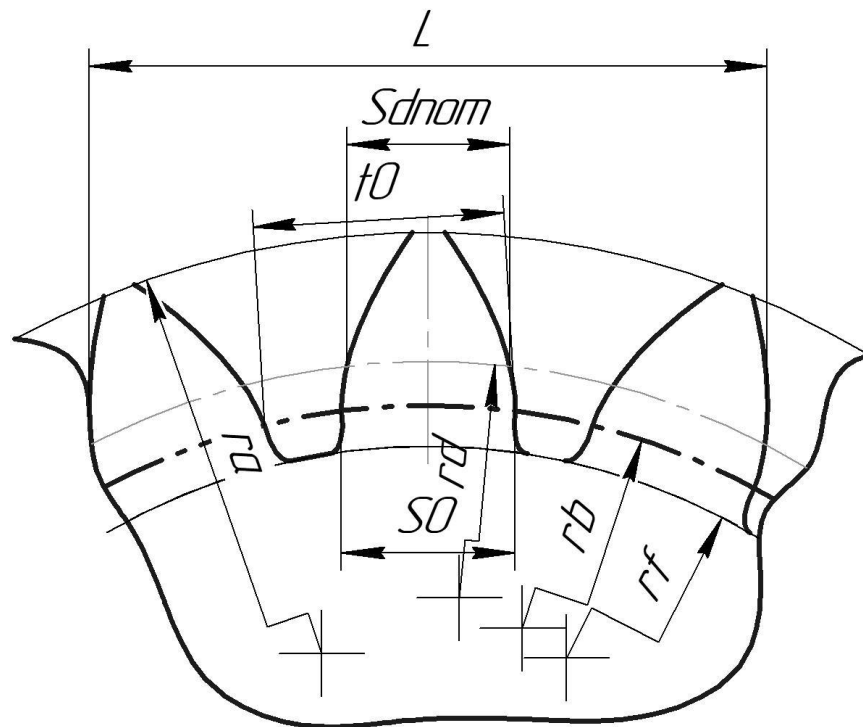


Рисунок 1.2 Основні геометричні параметри зубчастого колеса

Нормальний крок зубчастого колеса:

$$t_0 = \pi \cdot m \cdot \cos \alpha_0 = 29.521 \text{ мм}; \quad (1.8)$$

Товщина зуба на основному колі колеса:

$$S_0 = L - k_0 \cdot t_0 = 20.596 \text{ мм}; \quad (1.9)$$

Верхнє граничне значення товщина зуба на основному колі колеса:

$$S_{0\max} = L_{\max} - k_0 \cdot t_0 = 20.396 \text{ мм}; \quad (1.10)$$

Нижнє граничне значення товщина зуба на основному колі колеса:

$$S_{0\min} = L_{\min} - k_0 \cdot t_0 = 20.216 \text{ мм}; \quad (1.11)$$

Номінальна товщина зуба на ділильному колі:

$$S_{d\text{nom}} = r_d \cdot \frac{(S_0 + 2 \cdot r_b \cdot (a_0 - \tan a_0))}{r_b} = 19.384 \text{ мм}; \quad (1.12)$$

Верхнє граничне значення товщини зуба на ділильному колі:

$$S_{d\max} = r_d \cdot \frac{(S_{0\max} + 2 \cdot r_b \cdot (a_0 - \tan a_0))}{r_b} = 19.171 \text{ мм}; \quad (1.13)$$

Нижнє граничне значення товщини зуба на ділильному колі:

$$S_{d\min} = r_d \cdot \frac{(S_{0\min} + 2 \cdot r_b \cdot (a_0 - \tan a_0))}{r_b} = 18.980 \text{ мм}; \quad (1.14)$$

Формуючи припуск під зубошліфування згідно рекомендаціям [1] для колеса з модулем  $m = 10$  мм при даній по завданню хімікотермічній обробці, цементування з подальшим загартуванням, потрібно сформувати припуск 0,3 мм на сторону тоді товщина зуба (1.12-1.14), для якого будемо розраховувати інструмент буде становити:

Номінальна товщина зуба на ділильному колі з урахуванням припуску:

$$S_{dpr} = S_{d\text{nom}} + 2 \cdot 0.3 = 19.984 \text{ мм}; \quad (1.15)$$

Верхнє граничне значення товщини зуба на ділильному колі з урахуванням припуску:

$$S_{pr\max} = S_{d\max} + 2 \cdot 0.3 = 19.771 \text{ мм}; \quad (1.16)$$

Нижнє граничне значення товщини зуба на ділильному колі з урахуванням припуску:

$$S_{pr\min} = S_{d\min} + 2 \cdot 0.3 = 19.771 \text{ мм}; \quad (1.16)$$

Отримані значення будемо використовувати при подальших розрахунках формоутворюючого інструменту.

## 1.2 Особливості зубчастих коліс отримуваних зубошліфуванням.

Шліфування бічних поверхонь зубчастих коліс проводиться трьома методами - безперервним шліфуванням за методом обкатування, шліфуванням за методом обкатування з періодичним розподілом і профільним шліфуванням.

При безперервному шліфуванні за методом обкатування (верстати, що працюють черв'ячним шліфувальним кругом) обробляються одночасно ліва і права бічні поверхні зубів шестерні (рис. 1.3).

Внаслідок безперервного протікання процесу і одночасності обробки обох профілів зуба даний метод забезпечує найбільшу продуктивність, особливо при обробці дрібномодульних зубчастих коліс. Число зубів, що знаходяться в зачепленні з лівої і правої бічних поверхонь, різне, внаслідок чого при вході або виході зубів із зачеплення можуть утворюватися похибки їх профілю. Однак безперервне шліфування на відміну від шліфування з періодичним розподілом практично виключає похибки кроку. При обробці даним методом швидкість шліфувального круга і швидкість обкатування знаходяться в певному відношенні, що ускладнює можливість їх варіювання для запобігання шліфувальних опіків, а також для впровадження високошвидкісного шліфування.

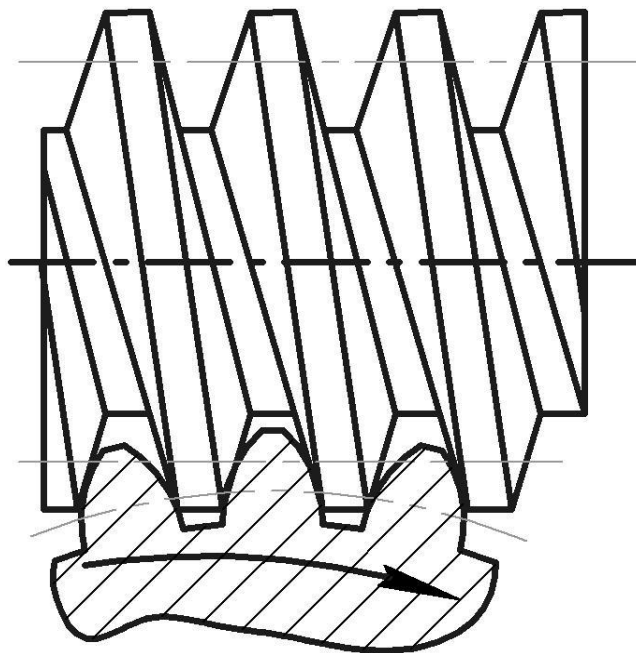


Рисунок 1.3 - Шліфування за методом обкатування.

При безперервному шліфуванні за методом обкатування, як правило, застосовують однозахідні черв'ячні кола. Застосування двохзахідних кругів дозволяє скоротити час обробки на 30-40%. Профіль зуба на колі утворюється за допомогою окремого профілюючого пристосування на верстаті.

При шліфуванні за методом обкатування з періодичним розподілом застосовуються два типи верстатів. При використанні одних верстатів (моделей 5A841, 5M841, 5843 і верстатів фірм Niles і Hafler) бокова поверхня зубів утворюється за рахунок обкатування конічним шліфувальними кругами (рис. 1.4); точність обробки при цьому залежить як від похибок верстата, так і від числа огинаючих різів. При роботі на інших верстатах (моделей 5851, 5853 і верстатах швейцарської фірми Maag) замість конічного круга застосовують два тарілчастих, і кожний круг обкатує по одній бічній поверхні зуба; ці верстати працюють без охолодження.

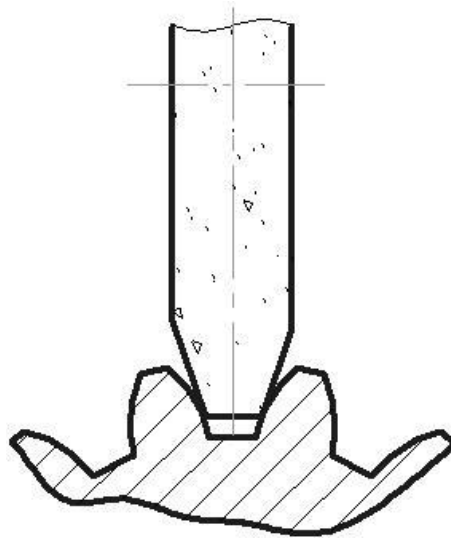


Рисунок 1.4 Обкатування конічним шліфувальним кругом

При профільному шліфуванні (рис. 1.5) практично весь профіль зуба шліфується за один прохід круга, що істотно підвищує продуктивність обробки. Точність профілю зуба в значній мірі залежить від форми і положення ріжучої кромки інструменту. Недоліком профільного шліфування є труднощі

формоутворення профілю круга. Крім того, при зміні геометричних параметрів оброблюваних зубчастих коліс необхідно заново профілювати інструмент.

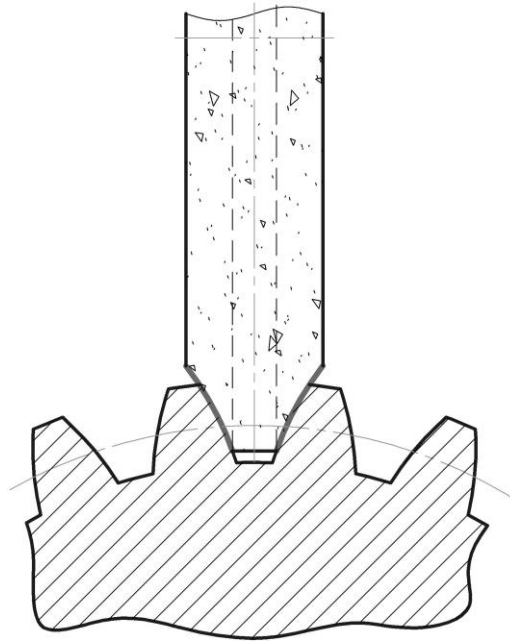


Рисунок 1.5 Профільне шліфування

Відповідно до [1] Припуском називають шар матеріалу, який видаляється з поверхні заготовки для отримання заданих розмірів, форм, шорсткості.

Зубошліфування являє собою окрему операцію після зубонарізання та термічного оброблення зубчастого колеса, тому припуски, які залишаються на зубошліфування називаються мінімальними, що знизити машинний час обробки деталі. Однак при цьому враховується деформація зубів, отриману після термічного оброблення деталі. При шліфуванні зубчастих коліс із цементованої сталі товщина припуску має границю, щоб не знижувати твердість та зносостійкість зубі колеса.

При шліфуванні зуба по всьому контуру впадин припуск залишається рівномірним по всьому контуру. У випадках, коли дно западини на шліфується, припуск залишають тільки на профіль зуба.

Профіль отриманий при чистовому зубонарізанні, після термічної обробки змінює своє положення, а після зубошліфування отримаю задану форму та розташування. Викривлення зуба головки може досягати 0.05-0.08мм, у коліс модулем 10мм. Тому припуск повинен бути більшим ніж величина деформації. При

виготовленні колес з вуглецевих загартованих сталей викривлення профілю зуба головки, проходять в сторону збільшення тіла, що в значно менше ніж у цементованих, тому зазвичай воно не враховується.

Великий вплив на величину припуску робить загальна деформація зубчастого вінця, який може приймати форму, близьку до еліпса, та інші форми які відрізняються від початкового циліндра. Такі припуски, називаються операційними, враховують деформацію колес після термічної обробки, а також похибку виготовлення зубчастого вінця при зубонарізанні.

Менше значення припуску відносять до колес, які мають малу схильність до викривлення після термічної обробки

Відповідно до [2] останнім часом в машинобудівній промисловості широко використовують зубчасті колеса з викружкой біля ніжки зуба. Вона необхідна як для виходу шліфувального круга, так і для покращення навантажувальних властивостей зубчастого колеса (рис 1.6-1.7). Зазвичай на креслені викружка задається у вигляді дуги окружності.

В залежності від параметрів профілю фрези і в першу чергу від кута профілю, перехідна крива на деталі може утворитись перехідною прямою зуба інструменту.

### *Профіль без піднутрення "З уступом"*

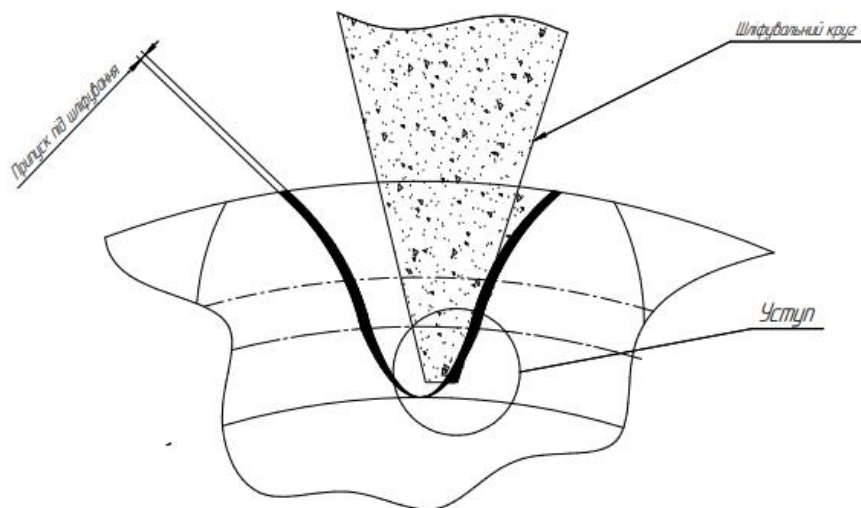


Рисунок 1.6 – Профіль зубчастого колеса під зубошліфування без піднутрення

### *Профіль з піднутренням "з викружкою"*

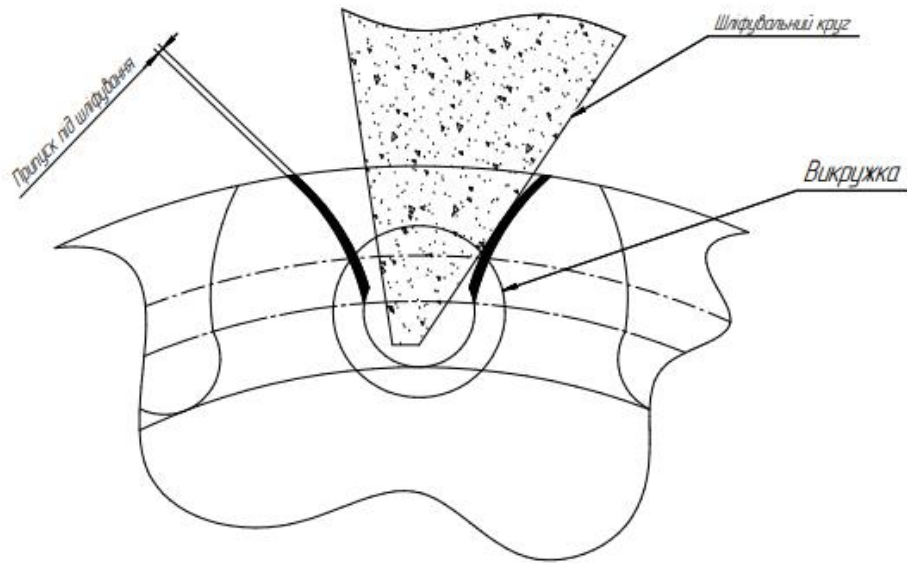


Рисунок 1.7 – Профіль зубчастого колеса під зубошліфування з викружкою

Як недолік слід відзначити, що часто на практиці головний кут профілю приймають рівним куту тиску на ділильному діаметрі колеса, що приводить до відрізання евольвенти зубчастого колеса. Величину підрізання приймають рівною величині виступу фрези – що не є дійсним.

Ці та інші обставини значно впливають на процес формоутворення ніжки зуба колеса, приводять до погіршення конструкції деталі.

### **1.3 Конструкції збірних черв'ячних фрез для формоутворення профілю під подальше зубошліфування**

На даний час основними фірмами виробниками прогресивних конструкцій збірних черв'ячних фрез є «Sandvik Coromant» (рис 1.8) [3], Ingersoll (рис 1.9) [4], LMT Fette (рис 1.10) [5].

Особливістю конструкції «Sandvik Coromant» є те що, посадка і базування модулів між собою здійснюється завдяки багатогранній полігональній поверхні, що забезпечує високу точність базування, та високу передачу крутного моменту між



модулями. Вихідний інструментальний контур формують дві пластини, які мають складну форму з протуберанцем. Фіксація модулів між собою здійснюється завдяки прижимних кришок як стягуються трьома гвинтами.



Рисунок 1.8 – Збірна черв'ячна фреза фірми «Sandvik Coromant»

В конструкції фірми «Ingersoll» реалізація базування модулів здійснюються завдяки посадці високоточних сухарів у високоточні пази, завдяки точній обробці поверхонь пазів та сухарів, виконується умова базування модулів, та передача крутного моменту між сегментами. Модулі фіксуються між собою завдяки двох заглушок, які між собою стягуються чотирьома гвинтами. Всі модулі спроектовані як одиничний інструмент, з них набирається та кількість модулів яка необхідна для створення довжини ріжучої частини черв'ячної фрези.

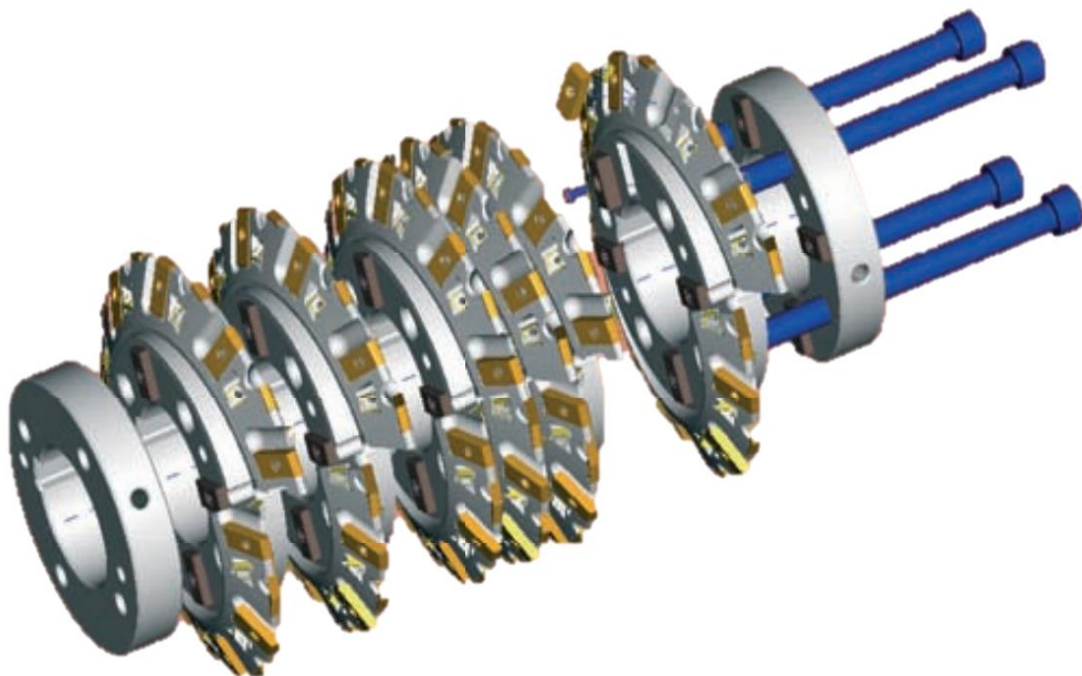


Рисунок 1.9 - Збірна черв'ячна фреза фірми «Ingersoll»

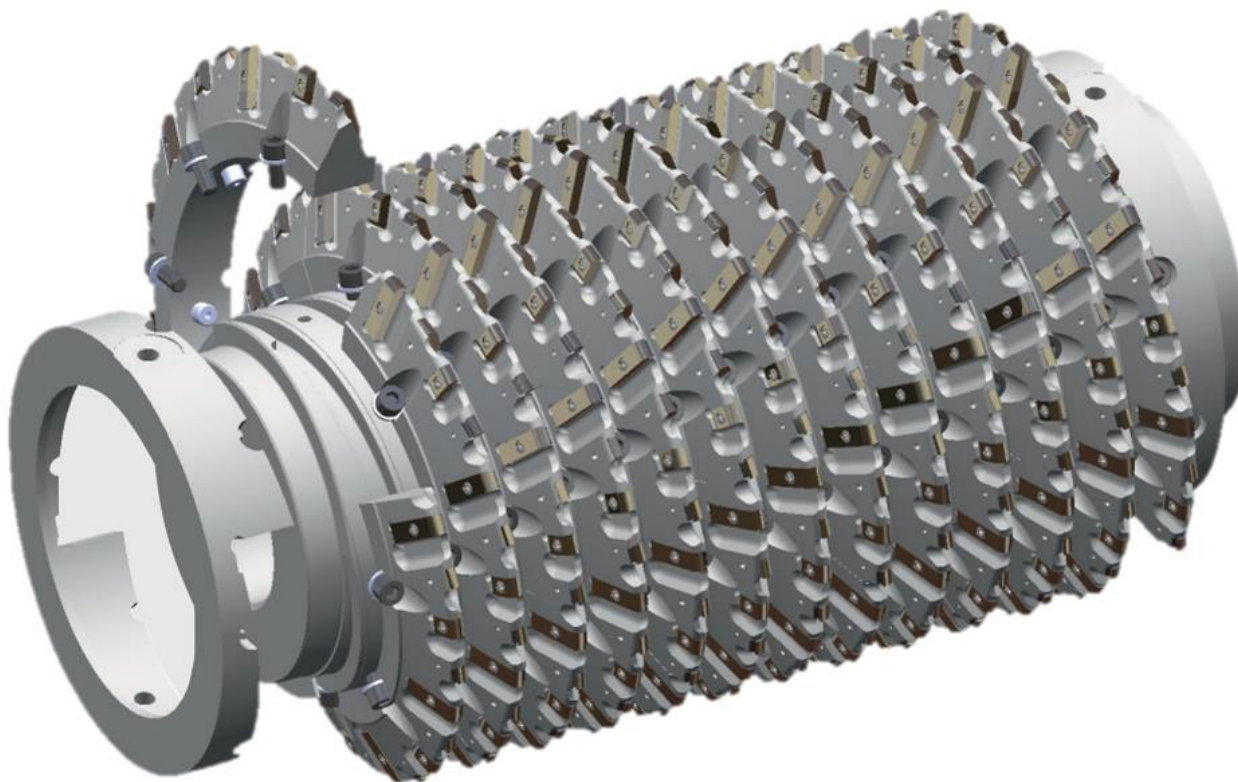


Рисунок 1.10 - Збірна черв'ячна фреза фірми «LMT Fette»

Особливістю конструкції даної збірної фрези (рис 1.10), є те що до основного корпусу кріпляться сегменти на гвинти, це дає можливість швидкої заміни сигмента у разі його поломки. Не недостатком являється неможливість контролювати довжину ріжучої частини.

В усіх трьох фрезах реалізовано тангенційне кріплення пластин до сегментів та не має наскрізних стружкових канавок, що значно підвищує міцність та стійкість інструменту.

До вітчизняних розробок можна віднести черв'ячну гострозаточену фрезу з циліндричними вставками (рис 1.11)

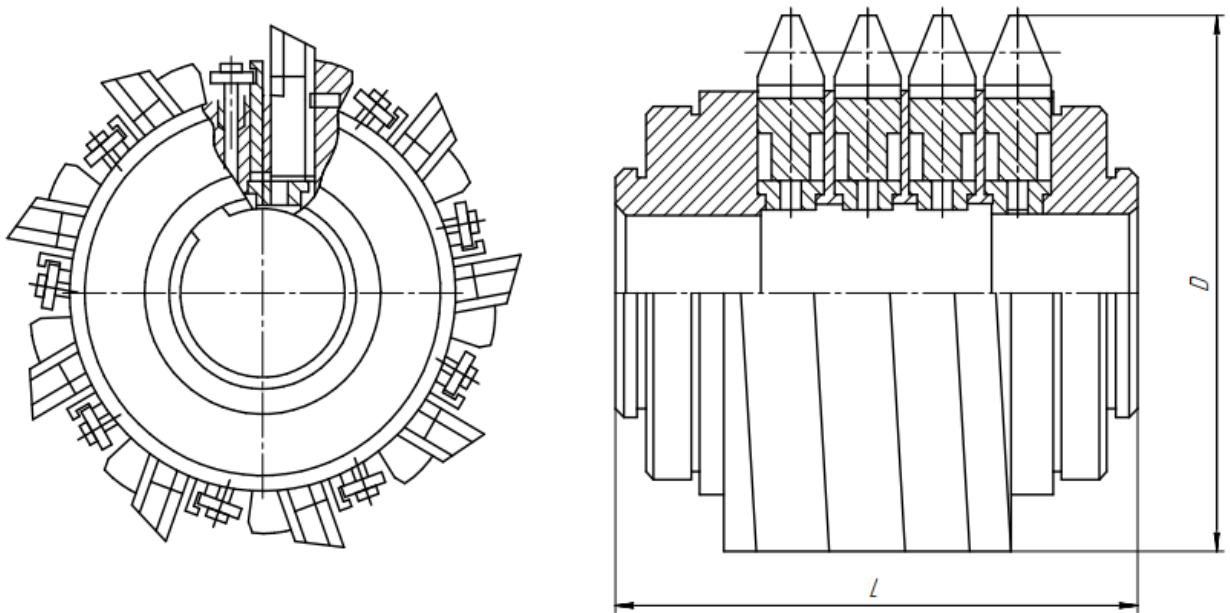


Рисунок 1.11 - Черв'ячна гострозаточена фреза з циліндричними вставками

Відповідно до [6] корпус фрези виконаний зі сталі 45Х твердістю HRC 30-35, у вигляді втулки із наскрізними продольними пазами. В цих пазах закріплені зуби (ножі) з напайними пластинами із твердого сплаву. Розміщення зубів по гвинтовій поверхні реалізується установкою в пазах корпусу точно виконаних упорів, запресованих в установчому кільці. Останнє щільно притискується до корпусу гвинтами, та фіксується від зміщення щіфтом. Упори в зібраній фрезі послідовно і рівномірно збільшуються по висоті на величину, рівну осьовому кроку, поділеному

на число пазів в корпусі. В осьовому напрямку зуби зажаті гвинтами через сухарі. Зі сторони передньої поверхні ножі затиснуті в пазі корпусу клинами за допомогою гвинтів. Таким чином, ножі в корпусі закріплені в осьовому та радіальному напрямках. При закріпленні ножі завчасно віджимають гвинтами в осьовому напрямку, потім підтягують клинами.

Способи реалізації вихідного контуру з протуберанцем пластинами різної форми, від відомих виробників:

Для створення необхідної форми вихідного інструментального контуру, використовуються схеми набору пластин для забезпечення повного формотворення зуба колеса.

Фірма «Sandvik Coromant» для своєї схеми використовує набір з двох пластин, які мають спеціальну форму з протуберанцем, та по дві ріжучі кромки на кожній з пластин (рис 1.12), кріплення кожної з цих пластин реалізується за допомогою двох гвинтів, що в свою чергу значно підвищує жорсткість фрези. Це дає змогу значно спростити конструкцію самої фрези, а також зменшити кількість технологічних операцій для її виготовлення.

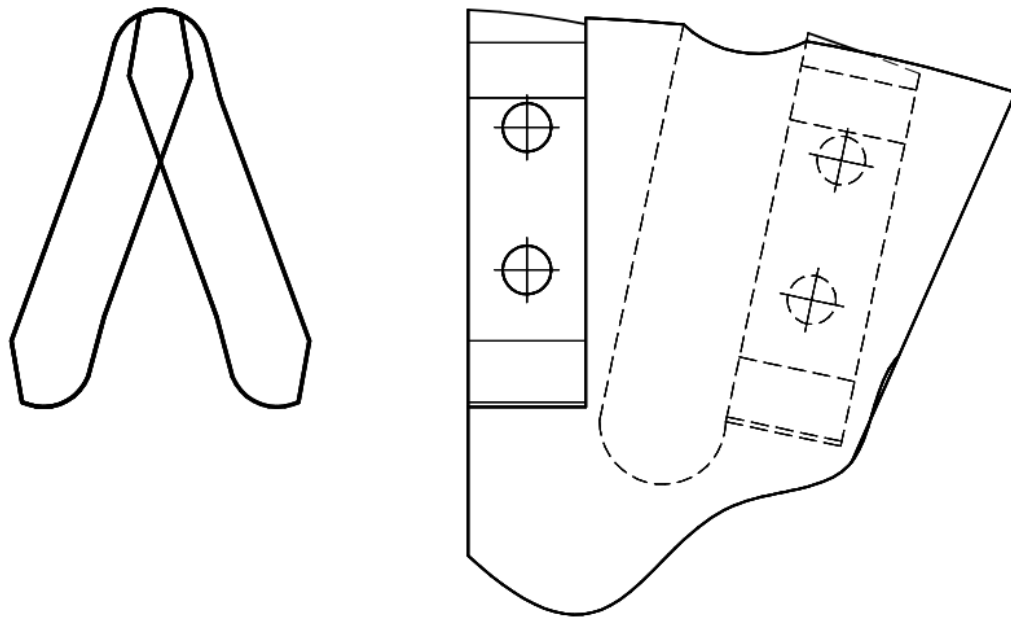


Рисунок 1.12 Схема кріплення пластин у фрезі «Sandvik Coromant»

В той же час такі фірми як «Ingersoll», (рис 1.13) «LMT Fette» (рис 1.14), для створення схеми реалізації контуру вихідної інструментальної поверхні, використовують набори з чотирьох, шести більш простих пластин які відрізняються між собою формою.

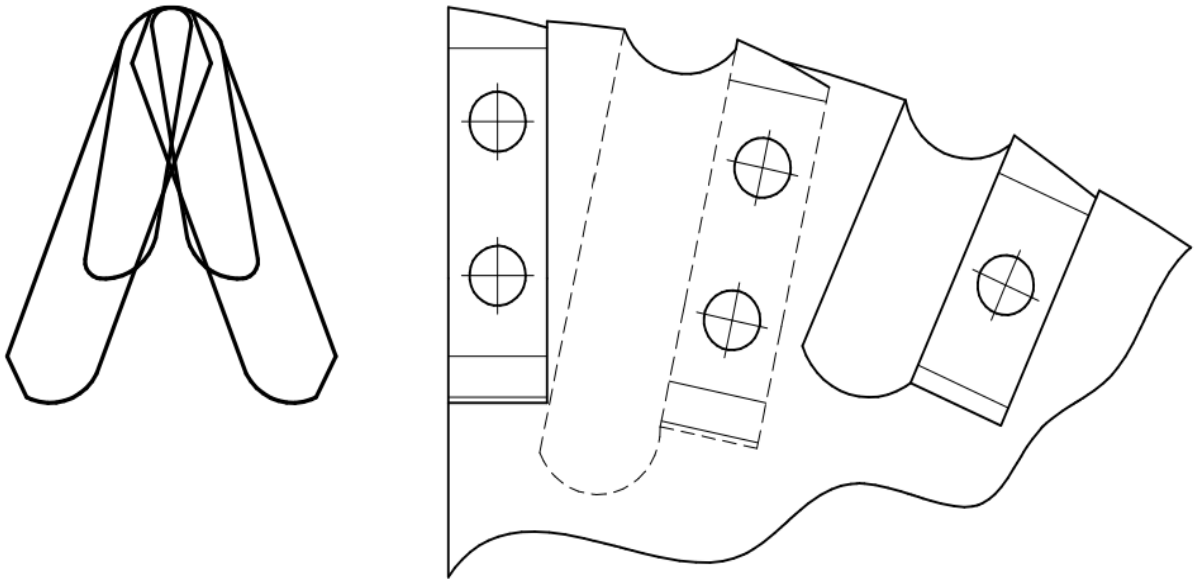


Рисунок 1.13 – Схема реалізації інструментального контуру фірми «Ingersoll»

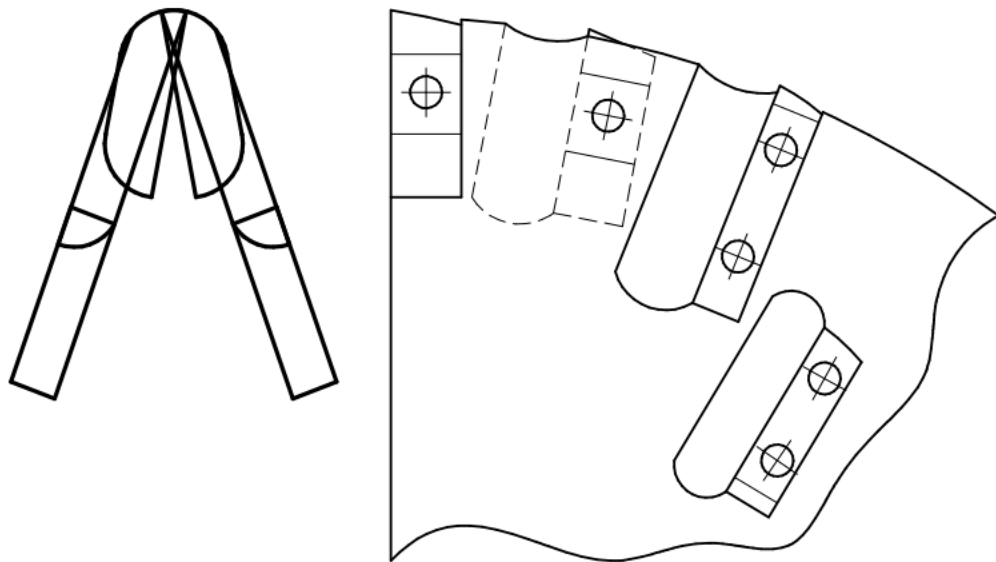


Рисунок 1.14 – Схема реалізації вихідного контуру LMT Fette

Виготовлення таких пластин є значно простішим, адже кожна з них має лише по одній ріжучій кромці, в свою чергу при обробці зубчастого колеса зменшуються навантаження на кожную з пластин. Але при цьому підвищується складність технологічного процесу виготовлення самого корпусу фрези.

З'єднання пластин з корпусом реалізується за рахунок прижимних гвинтів в кількості одного або двох на кожную пластину.

Для реалізації вихідного інструментального контуру фрези без протуберанця можна використовувати ряд стандартних схем з кутами профілю  $\alpha_{n0} = 0^\circ$ , (рис 1.15),

$\alpha_{n0} = 2^\circ$ ,  $\alpha_{n0} = 8^\circ$ . Використання таких схем для побудови майбутньої збірної черв'ячної фрези дасть можливість використовувати ряд стандартних пластин, які доступні в продажі. Це значно зменшує вартість експлуатації інструменту, та покращує доступність його обслуговування.

В наведених схемах для утворення вихідного інструментального контуру черв'ячної фрези використовується, чотири, шість або більше стандартних пластин.

Кріплення в цих схемах здійснюється в тангенціальному та, або радіальному (рис 1.16) напрямках. Задній кут  $\alpha$  формується за рахунок повороту пластин, або самими платинами ромбічної форми (рис 1.17).

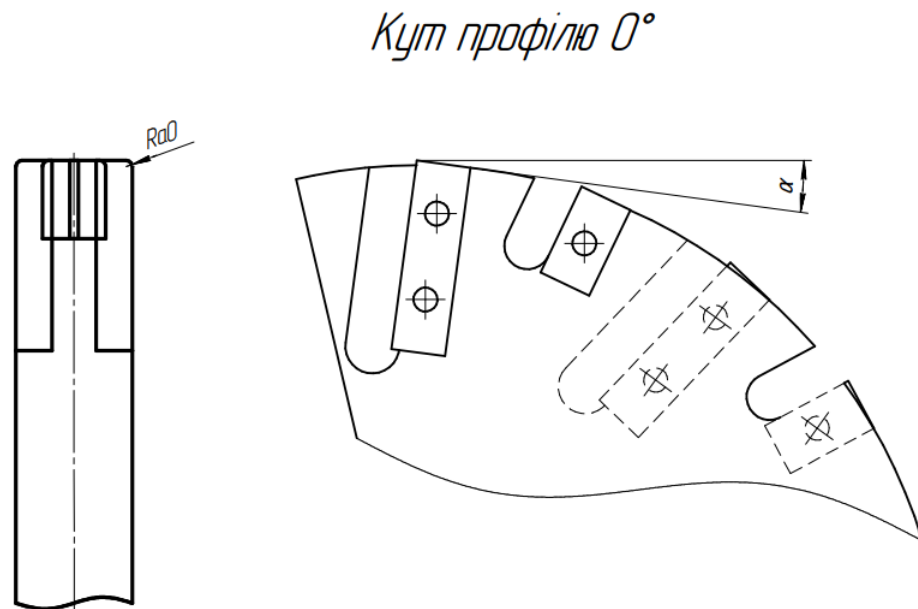


Рисунок 1.15 – Схема реалізації вихідного контуру кутом  $\alpha_{n0} = 0^\circ$



*Кут профілю 2°*

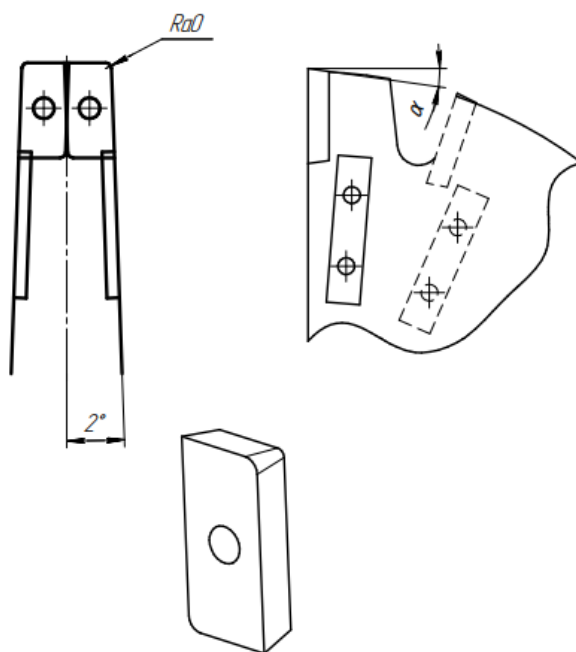


Рисунок 1.16 – Схема реалізації вихідного контуру кутом  $\alpha_{п0} = 2^\circ$

*Кут профілю 8°*

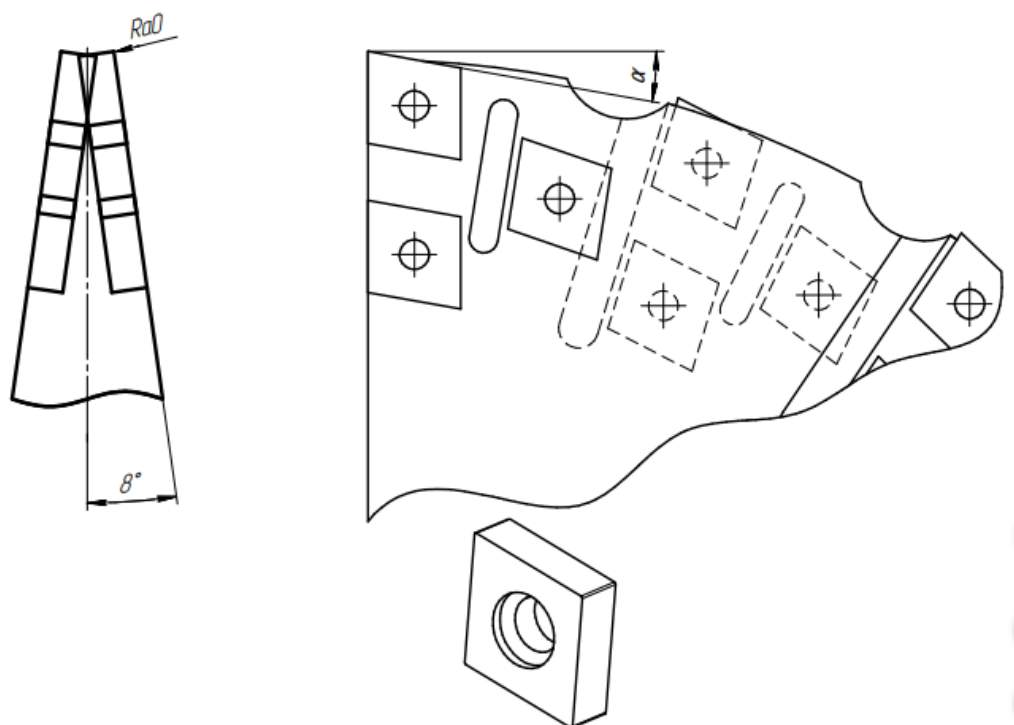


Рисунок 1.17 – Схема реалізації вихідного контуру кутом  $\alpha_{п0} = 8^\circ$

## **1.4 Задачі**

- Проаналізувати формоутворення профілю зубчастих коліс під зубошліфування, згідно завдання.
- Розрахувати вихідний інструментальний контур для обробки профілю зубчастого колеса під попереднє зубошліфування.
- Розробити конструкцію збірної черв'ячної фрези для оброблення зубчастого колеса під попереднє зубошліфування.



## РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ФОРМОУТВОРЕННЯ ЧЕРВ'ЯЧНИМИ ФРЕЗАМИ

### 2.1 Аналіз формоутворення рєсчним інструментом профілю зубчастого колеса

Відповідно до [7] кінематичні схеми формоутворення вважаються схемами другого класу, якщо вихідний відносний рух Д/І буде миттєвим обертальним або миттєвим поступальним рухом. Другий клас включає чотири типи кінематичних схем формоутворення, при яких аксоїди деталі та інструменту обкочуються один по одному без ковзання. Аксоїдами можуть бути циліндр і площина, циліндр і циліндр, конус і площина, конус і конус.

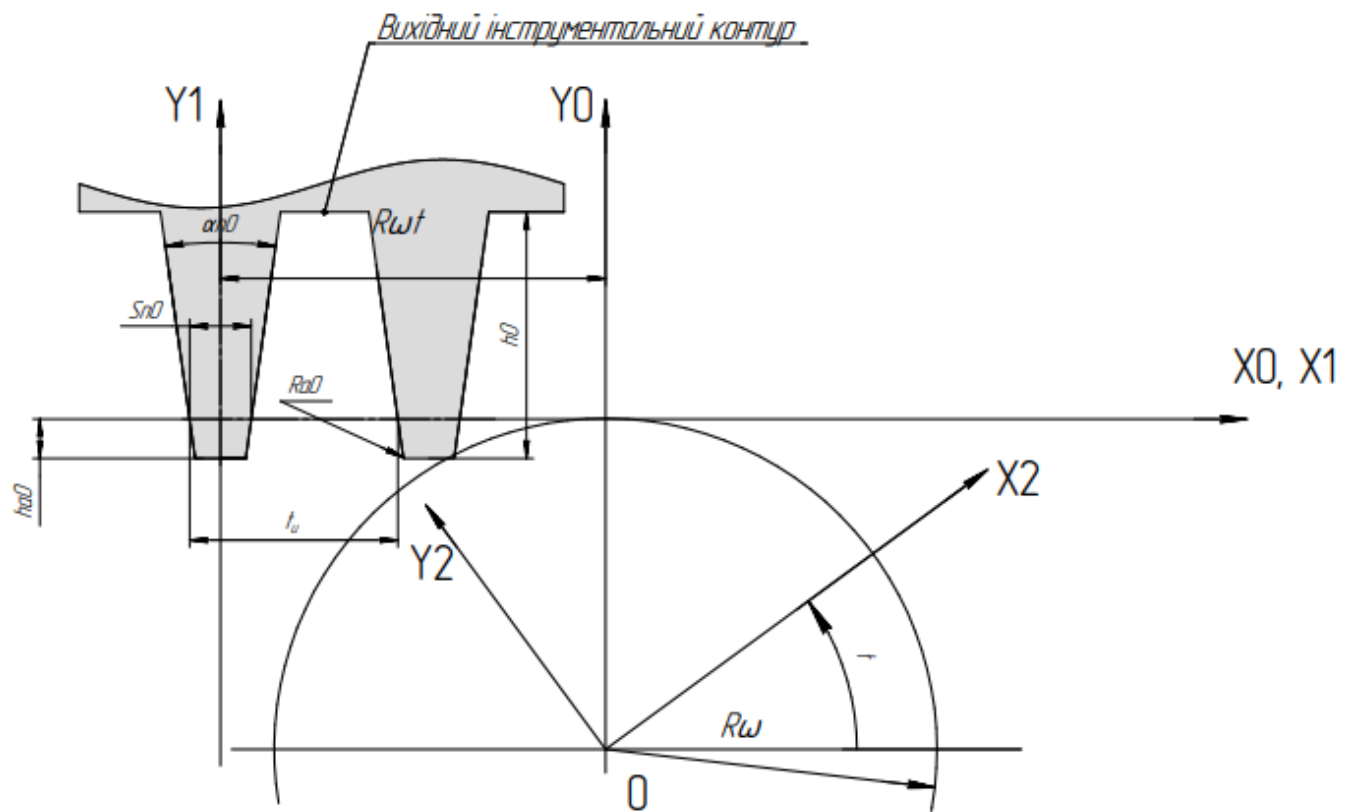
В практиці найбільш широко застосовуються схеми формоутворення другого класу, при яких відносний рух зводиться до кочення без ковзання початкової площини по початковому круглому циліндру, а також до кочення без ковзання круглих циліндрів один по одному.

Розглянемо схему формоутворення, яка зводиться до кочення без ковзання початкової прямої, зв'язаної із заданим профілем деталі Д по початковому колу, зв'язаному зі спряженим профілем вихідної інструментальної поверхні. Будемо вважати, що профіль деталі рухається поступово вздовж початкової прямої, а спряжений профіль обертається навколо центра початкового кола. Взаємне розташування систем координат  $X_1Y_1$  і  $X_2Y_2$  та нерухомої системи  $X_0Y_0$  зображене в початковий момент та в довільний момент (рис. 2.1).

У випадку, що розглядається, формули перетворення координат записуються наступним чином:

$$\begin{aligned} Y_0 &= Y_1; \\ X_0 &= X_1 - R_\omega t; \end{aligned} \quad (2.1)$$

$$\begin{aligned} X_2 &= (X_1 - R_\omega t) \cos t + (Y_1 + R_\omega) \sin t; \\ Y_2 &= (Y_1 + R_\omega) \cos t - (X_1 - R_\omega t) \sin t. \end{aligned} \quad (2.2)$$



$X_0, Y_0$  – нерухома система координат  
 $X_1, Y_1$  – система координат інструмента  
 $X_2, Y_2$  – система координат деталі  
 $S_{n0}$  – товщина зуба на ділильному колі  
 $h_0$  – висота зуба рейки  
 $h_{a0}$  – висота головки зуба  
 $t_u$  – крок по нормалі

$\alpha_{n0}$  – кут профілю рейки  
 $R_{a0}$  – радіус заокруглення вершини зуба рейки  
 $\psi$  – кут нахилу дотичної до профілю деталі  
 $t$  – кутове положення

Рисунок 2.1 – Схема формоутворення профілю зубчастого колеса інструментальною рейкою

Рівняння профілю деталі в системі координат  $X_1Y_1$  буде:

$$Y_1 = f(X_1) \quad (2.3)$$

Рівняння заданого профілю деталі в параметричному вигляді буде:

$$X_1 = f_1(u), \quad Y_1 = f_2(u), \quad (2.4)$$

Кут  $\psi$  нахилу дотичної до профілю деталі:

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{\partial f(X_1)}{\partial (X_1)} \quad (2.5)$$

Кут нахилу дотичної до профілю деталі, коли рівняння профілю деталі задано в параметричному вигляді:

$$tg \psi = \frac{\frac{\partial Y_1}{\partial u}}{\frac{\partial X_1}{\partial u}}, \quad (2.6)$$

Нормаль  $\bar{N}$  до профілю деталі в довільній точці  $M$  в системі  $X_1Y_1$ :

$$\bar{N} = \bar{i} \sin \psi - \bar{j} \cos \psi. \quad (2.7)$$

Швидкість  $\bar{V}$  руху точки  $M$  відносно системи  $X_2Y_2$  буде швидкістю миттєвого обертання навколо полюса  $P$ , тобто навколо початку координат системи  $X_0Y_0$ :

$$\bar{V}_M = -\bar{i}Y_0\omega + \bar{j}X_0\omega \quad (2.8)$$

Момент контакту спряжених профілів в точці  $M$  визначається за рівнянням контакту. Помноживши скалярно вектор  $\bar{N}$  на вектор  $\bar{V}$ , отримаємо:

$$-Y_0\omega \sin \psi - X_0\omega \cos \psi = 0. \quad (2.9)$$

Переходячи до системи  $X_1Y_1$ , будемо мати:

$$-Y_1\omega \sin \psi - (X_1 - R_\omega t)\omega \cos \psi = 0. \quad (2.10)$$

З цього рівняння визначаємо параметр  $t$ , кутове положення диску 1 при якому відбувається контакт профілю деталі з огиноючою:

$$t = \frac{Y_1 tg \psi + X_1}{R_\omega} \quad (2.11)$$

При розрахунках спряженого профілю задаються координатами  $X_1Y_1$  ряду вузлових точок профілю деталі Д. У кожній точці розраховуються кути нахилу дотичних. За рівнянням контакту обчислюється параметр  $t$ , при якому вузлові точки профілю деталі стикаються з відповідними точками профілю вихідної інструментальної поверхні І. Знаючи  $X_1Y_1$  і  $t$  за формулами перетворення координат

розраховуються координати  $X_2Y_2$  точок контакту, сукупність яких в системі  $X_2Y_2$  буде шуканим профілем вихідної інструментальної поверхні.

Спільний розгляд рівняння профілю деталі, рівняння контакту і формул перетворення координат дає профіль вихідної інструментальної поверхні.

Координата точок профілю вихідної інструментальної поверхні розраховуються в такій послідовності:

- вибираються координати  $X_1, Y_1$  вузлових точок профілю деталі, в яких визначаються кути нахилу дотичних;
- за рівнянням контакту розраховуються кути  $t$  при яких точки профілю деталі контактують зі спряженими точками профілю вихідної інструментальної поверхні;
- за формулами перетворення координат знаходяться точки контакту в системі координат  $X_2Y_2$ , сукупність яких дає спряжений профіль вихідної інструментальної поверхні.

## 2.2 Опис профілю вихідного контуру фрези

Відповідно до [8] необхідно описати твірні вихідного інструментального профілю ВІП фрези, які будемо, записувати як різні ділянок, які спряженні між собою і задані в параметричній формі.

Для того, щоб отримати рівняння такої поверхні необхідно записати рівняння твірної, це буде вектор стовпчик  $4 \times 1$  для розширених матриць афінних перетворень:

$$R_1 = \begin{pmatrix} f_x(u) \\ f_y(u) \\ f_z(u) \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2.12)$$

, де  $f_x(u), f_y(u), f_z(u)$  – параметричні функції що описують рівняння твірної кривої. Якщо твірна крива плоска то один із компонентів  $f_x(u), f_y(u), f_z(u)$  може бути рівний нулю.

Найбільш вживаними геометричними примітивами при описі поверхонь в машинобудуванні є пряма лінія та коло, для прямої лінії, що задана на площині рівняння твірної запишеться наступним чином (рис. 2.5):

$$\begin{aligned} f_x(u) &= x_1 + kx_{12}u; \\ f_y(u) &= y_1 + ky_{12}u; \\ kx_{12} &= x_2 - x_1; \\ ky_{12} &= y_2 - y_1; \\ u &= 0..1 \end{aligned} \tag{2.13}$$

де  $x_1, y_1, x_2, y_2$  – координати точок кінців відрізків прямої лінії твірної в обраній системі координат,  $u$ - параметр, що описує положення точки на прямій і в межах цього відрізка, що обмежений точками А і В (рис. 2.2) він приймає значення від 0 до 1.

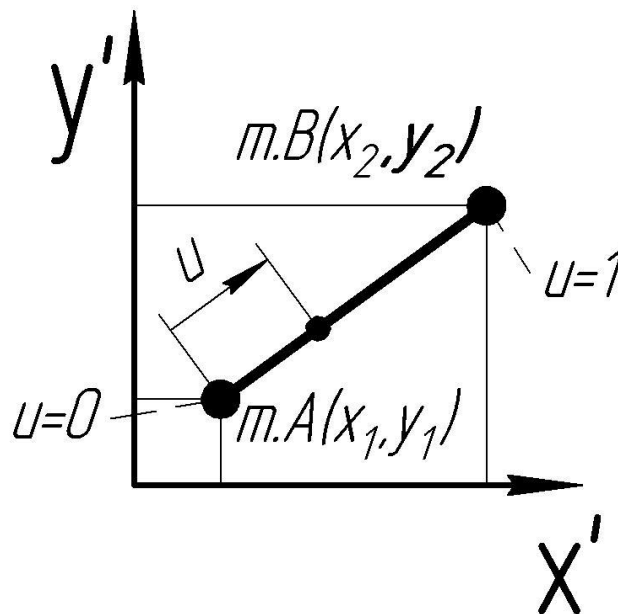


Рисунок 2.2 - Твірна – пряма лінія.

Другим найбільш вживаним геометричним плоским примітивом, є коло – дуга кола (рис. 2.3).

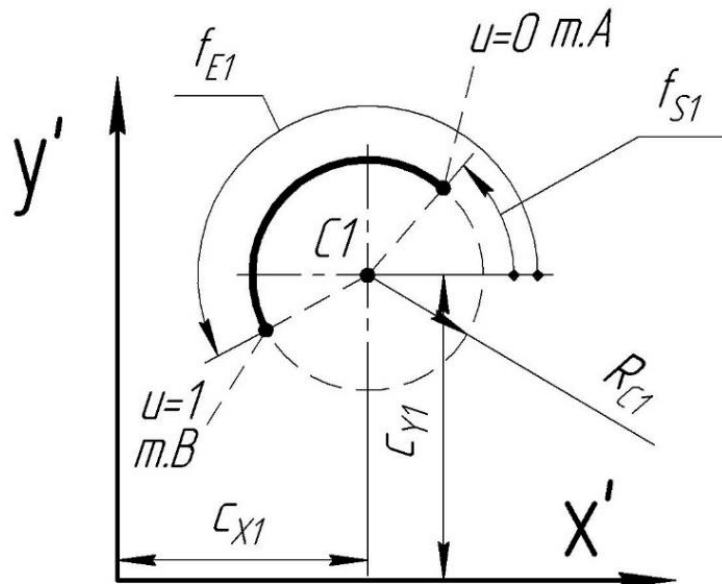


Рисунок 2.3 - Твірна – дуга кола.

Параметри, що описують дугу кола є наступні (рис. 2.3) :  $R_{C1}$ - радіус дуги кола,  $C_{X1}$ ,  $C_{Y1}$  – координати центру дуги кола  $C1$ ,  $f_{S1}$  – кут сектору початку дуги кола в т.А, що відраховується від горизонтальної прямої проти годинникової стрілки,  $f_{E1}$  – кут сектору закінчення дуги кола в т.В, що відраховується від горизонтальної прямої проти годинникової стрілки. Тоді рівняння твірної, що описує дуга кола в параметричному вигляді запишеться наступним чином:

$$\begin{aligned} f_x(u) &= C_{X1} + R_{C1} \cdot \cos(f_{S1} + kf_{12} \cdot u); \\ f_y(u) &= C_{Y1} + R_{C1} \cdot \sin(f_{S1} + kf_{12} \cdot u); \end{aligned} \quad (2.14)$$

$$kf_{12} = f_{E1} - f_{S1};$$

$$u = 0..1$$

де  $u$ - параметр, що описує положення точки на прямій і в межах цього відрізка, що обмежений точками А і В він приймає значення від 0 до 1.

Користуючись даними розрахунками, ми можемо привести параметричні рівняннями ділянок профілю для опису вихідного інструментального контуру без протуберанця (рис. 2.4):

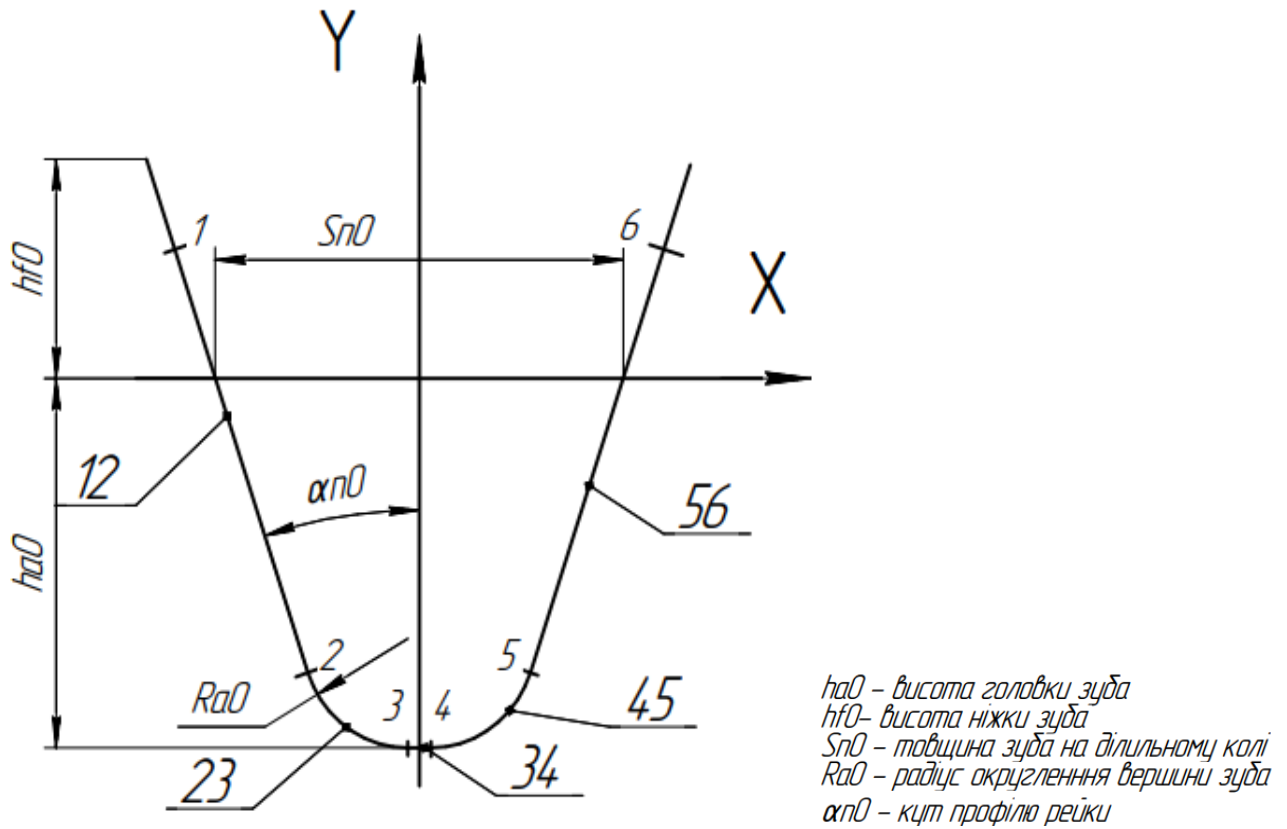


Рисунок 2.4 – Вихідний інструментальний контур без протуберанця

Параметричні рівняння ділянок профілю вихідного інструментального контуру без протуберанця:

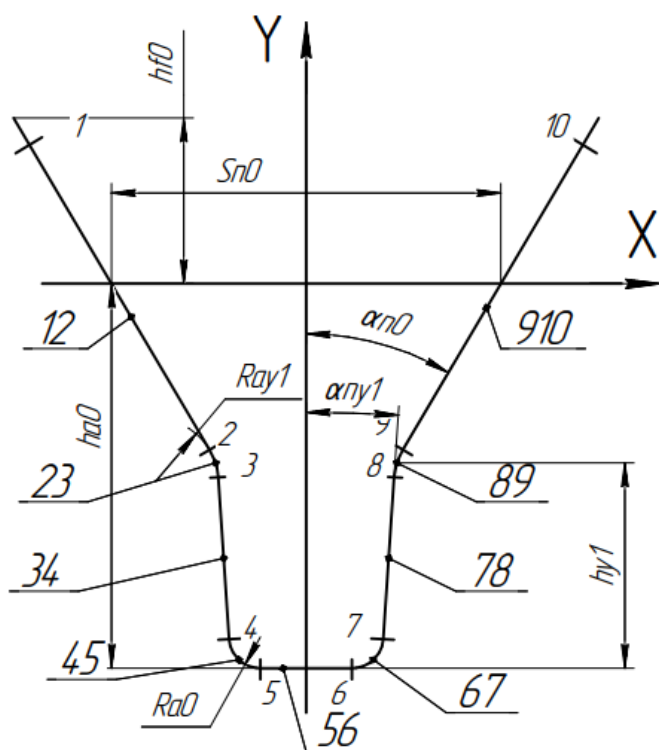
$$\begin{aligned}
 12. \begin{cases} x = X1 + kx12 \cdot u \\ y = -(Y1 + ky12 \cdot u) \end{cases}; \\
 23. \begin{cases} x = cx23 + Ra0 \cdot \cos(aS23 + u \cdot Ka23) \\ y = -(cy23 + Ra0 \cdot \sin(aS23 + u \cdot Ka23)) \end{cases}; \\
 34. \begin{cases} x = X3 + kx34 \cdot u \\ y = -(Y3 + ky34 \cdot u) \end{cases}; \\
 45. \begin{cases} x = cx45 + Ra0 \cdot \cos(aS45 + u \cdot Ka45) \\ y = -(cy45 + Ra0 \cdot \sin(aS45 + u \cdot Ka45)) \end{cases}; \\
 56. \begin{cases} x = X5 + kx56 \cdot u \\ y = -(Y5 + ky56 \cdot u) \end{cases}
 \end{aligned} \quad (2.15)$$

Значення всіх змінних параметричних рівнянь ділянок профілю вихідного інструментального контуру наведені в (2.16)

$$\begin{aligned}
X6 &= -Sn1 - hf0 \cdot \tan(an0); \\
X5 &= -Sn1 + ha0 \cdot \tan(an0) - Ra0 \cdot (\cos(an0) - \cotg\left(0.5 \cdot \left(\frac{\pi}{2} + an0\right)\right)); \\
X4 &= -Sn1 + ha0 * \tan(an0) + Ra0 * \cotg\left(0.5 \cdot \left(\frac{\pi}{2} + an0\right)\right); \\
X3 &= -X4; \\
X2 &= -X5; \\
X1 &= -X6; \\
Y6 &= -hf0 - bx1; \\
Y5 &= ha0 - Ra0 \cdot (1 - \sin(an0)) - bx1; \\
Y4 &= ha0 - bx1; \\
Y3 &= ha0 - bx1; \\
Y2 &= ha0 - Ra0 \cdot (1 - \sin(an0)) - bx1; \\
Y1 &= -hf0 - bx1; \\
u &= 0 \dots 1; \\
kx12 &= X2 - X1; \\
kx34 &= X4 - X3; \\
kx56 &= X6 - X5; \\
ky12 &= Y2 - Y1; \\
ky34 &= Y4 - Y3; \\
ky56 &= Y6 - Y5; \\
cx23 &= Sn1 - Ra0 \cdot \cotg\left(\frac{(an0 + \pi/2)}{2}\right) - ha0 \cdot \tan(an0); \\
cx45 &= -Sn1 + Ra0 \cdot \cotg\left(\frac{(an0 + \pi/2)}{2}\right) + ha0 \cdot \tan(an0); \\
cy23 &= ha0 - Ra0 - bx1; \\
cy45 &= ha0 - Ra0 - bx1; \\
aS23 &= an0; \\
aS45 &= \frac{\pi}{2}; \\
Ka23 &= \frac{\pi}{2} - an0; \\
Ka45 &= \frac{\pi}{2} - an0
\end{aligned} \tag{2.16}$$

Далі приведем параметричні рівняння ділянок профілю, для опису вихідного інструментального контуру з протуберанцем (рис 2.5).





$ha0$  – висота головки зуба  
 $hf0$  – висота ніжки зуба  
 $Sn0$  – товщина зуба на діляльному колі  
 $Ra0$  – радіус округлення вершини зуба  
 $\alpha_{n0}$  – кут профілю рейки  
 $Ray1$  – радіус скруглення бокової частини  
 $hy1$  – висота протуберанця  
 $\alpha_{ny1}$  – кут профілю протуберанця зуба

Рисунок 2.5 – Вихідний інструментальний контур з протуберанцем

Рівняння ділянок профілю вихідного інструментального контуру з протуберанцем:

$$\begin{aligned}
 12. & \begin{cases} x = X1 + kx12 \cdot u; \\ y = Y1 + ky12 \cdot u; \end{cases} \\
 23. & \begin{cases} x = cx23 + Ray1 \cdot \cos(aS23 + u \cdot Ka23); \\ y = cy23 + Ray1 \cdot \sin(aS23 + u \cdot Ka23); \end{cases} \\
 34. & \begin{cases} x = X3 + kx34 \cdot u; \\ y = Y3 + ky34 \cdot u; \end{cases} \\
 45. & \begin{cases} x = cx45 + Ra0 \cdot \cos(aS45 + u \cdot Ka45); \\ y = cy45 + Ra0 \cdot \sin(aS45 + u \cdot Ka45); \end{cases} \\
 56. & \begin{cases} x = X5 + kx56 \cdot u; \\ y = Y5 + ky56 \cdot u; \end{cases} \\
 67. & \begin{cases} x = cx67 + Ra0 \cdot \cos(aS67 + u \cdot Ka67); \\ y = cy67 + Ra0 \cdot \sin(aS67 + u \cdot Ka67); \end{cases} \\
 78. & \begin{cases} x = X7 + kx78 \cdot u; \\ y = Y7 + ky78 \cdot u; \end{cases} \\
 89. & \begin{cases} x = cx89 + Ray1 \cdot \cos(aS89 + u \cdot Ka89); \\ y = cy89 + Ray1 \cdot \sin(aS89 + u \cdot Ka89); \end{cases} \\
 910. & \begin{cases} x = X9 + kx910 \cdot u \\ y = Y9 + ky910 \cdot u \end{cases}
 \end{aligned} \tag{2.17}$$

Значення всіх змінних параметричних рівнянь ділянок профілю вихідного інструментального контуру наведені в (2.18)

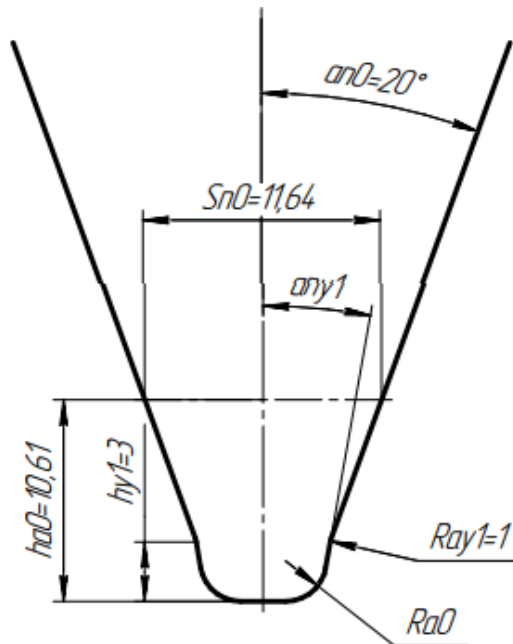
$$\begin{aligned}
X1 &= Sn1 + hf0 \cdot \tan(an0); \\
X2 &= Sn1 - (ha0 - hy1) \cdot \tan(an0) + Ray1 \cdot \tan\left(\frac{an0 - any1}{2}\right) \cdot \sin(an0); \\
X3 &= Sn1 - (ha0 - hy1) \cdot \tan(an0) - Ray1 \cdot \tan\left(\frac{an0 - any1}{2}\right) \cdot \sin(ay1); \\
X4 &= Sn1 - (ha0 - hy1) \cdot \tan(an0) - hy1 \cdot \tan(any1) + Ra0 \cdot \tan\left(\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\pi}{2} - anu1\right)\right) \cdot \sin(any1); \\
X4 &= Sn1 - (ha0 - hy1) \cdot \tan(an0) - hy1 \cdot \tan(any1) + Ra0 \cdot \tan\left(\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\pi}{2} - anu1\right)\right) \cdot \sin(any1); \\
X5 &= Sn1 - (ha0 - hy1) \cdot \tan(an0) - hy1 \cdot \tan(any1) - Ra0 \cdot \tan\left(\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\pi}{2} - anu1\right)\right); \\
X6 &= -X5; X7 = -X4; X8 = -X3; X9 = -X2; X10 = -X1; \\
Y1 &= hf0 + bx1; \\
Y2 &= -(ha0 - hy1) + Ray1 \cdot \tan\left(\frac{an0 - any1}{2}\right) \cdot \cos(an0) + bx1; \\
Y3 &= -(ha0 - hy1) - Ray1 \cdot \tan\left(\frac{an0 - any1}{2}\right) \cdot \cos(any1) + bx1; \\
Y4 &= -ha0 + Ra0 \cdot \tan\left(\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\pi}{2} - anu1\right)\right) \cdot \cos(any1) + bx1; \\
Y5 &= -ha0 + bx1; \\
Y6 &= Y5; \\
Y7 &= Y4; \\
Y8 &= Y3; \\
Y9 &= Y2; \\
Y10 &= Y1; \\
kx12 &= X2 - X1; ky12 = Y2 - Y1; \\
kx34 &= X4 - X3; ky34 = Y4 - Y3; \\
kx56 &= X6 - X5; ky56 = Y6 - Y5; \\
kx78 &= X8 - X7; ky78 = Y8 - Y7; \\
kx910 &= X10 - X9; ky910 = Y10 - Y9; \\
cx23 &= X2 + Ray1 \cdot \cos(an0); cy23 = Y2 + Ray1 \cdot \sin(an0); \\
cx45 &= X5; cy45 = Y5 + Ra0; \\
cx67 &= -cx45; cy67 = cy45; \\
cx89 &= -cx23; cy89 = cy23; \\
aS23 &= \pi - an0; aS67 = \pi + any1; \\
aS45 &= \frac{3\pi}{2}; aS89 = any1; \\
Ka23 &= an0 - an1; \\
Ka45 &= \frac{\pi}{2} - any1; \\
Ka67 &= Ka45; \\
Ka89 &= Ka23
\end{aligned} \tag{2.18}$$

## 2.3 Аналіз формоутворення профілю зубчастого колеса

Скориставшись рівняннями профілю вихідного інструментального контуру які приведені вище, в середовищі «Scilab-6.0.1» було створено програми (Додаток А), які дозволяють провести дослідження, та аналіз формоутворення профілю зуба колеса реєчним інструментом.

Спочатку було проведено дослідження формоутворення профілю зуба, рейкою з протуберанцем (рис. 2.9), яка має наступні геометричні параметри:

1. Товщина зуба рейки на ділильному колі  $Sn0 = 11.64\text{мм}$ ;
2. Висота головки зуба  $ha0 = 10.61\text{мм}$ ;
2. Кут профілю рейки  $\alpha n0 = 20^\circ$ ;
3. Висота протуберанця  $hy1 = 3\text{мм}$ ;
4. Радіус скруглення бокової частини рейки  $\alpha n1 = 1\text{мм}$ .



*hy1 – висота протуберанця  
ha0 – висота головки зуба  
Sn0 – товщина зуба рейки на ділильному колі  
Ra0 – радіус округлення вершини зуба  
Ray1 – радіус скруглення бокової частини  
крайок зуба  
 $\alpha n0$  – кут профілю рейки  
 $\alpha n1$  – кут профілю протуберанця зуба*

Рисунок 2.6 – Профіль зуба рейки з протуберанцем

Для дослідження за основу було взято параметри радіуса округлення вершин зуба зі стандартних пластин  $Ra0 = 0.1; 0.4; 0.8; 1; 2$  мм.

Результати розрахунків наведені на (рис 2.7-2.21).

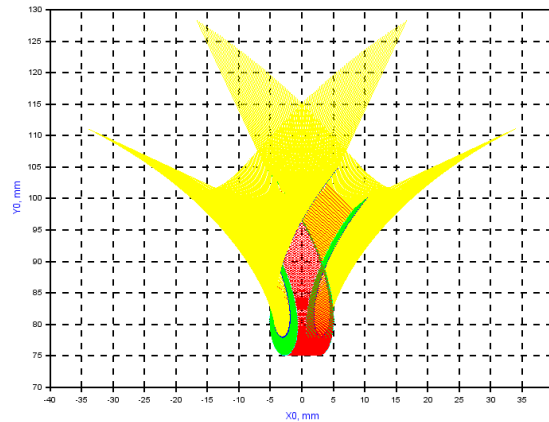


Рисунок 2.7 – Сімейство кривих профілю рейки при огинанні по схемі кочення без ковзання пряма-колесо ( $m = 10$  мм,  $z = 17$ ,  $\chi = 0,505$ ), для  $Ra0 = 0.1$  мм при  $\alpha_{ny1} = 5^\circ$

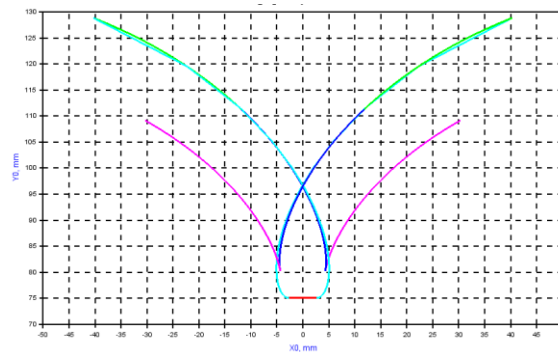


Рисунок 2.8 – Огинаючі профілю рейки ( $Ra0 = 0.1$  мм при  $\alpha_{ny1} = 5^\circ$ )

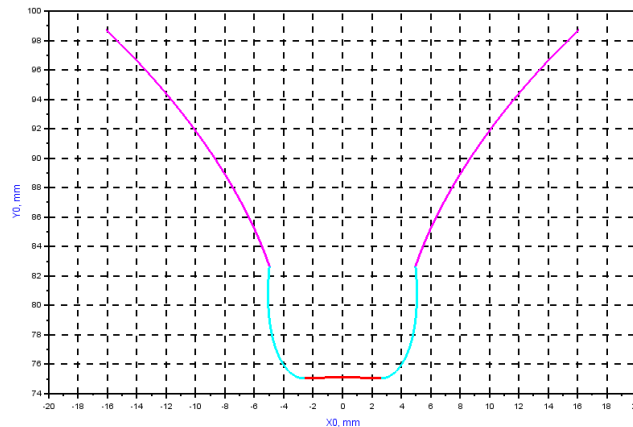


Рисунок 2.9 – Профіль зуба ( $Ra0 = 0.1$  мм при  $\alpha_{ny1} = 5^\circ$ )

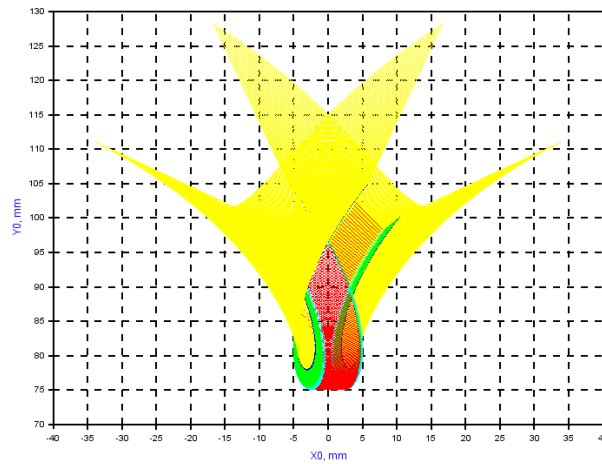


Рисунок 2.10 – Сімейство кривих профілю рейки при огинанні по схемі кочення без ковзання пряма-колесо ( $m = 10\text{ мм}$ ,  $z = 17$ ,  $x = 0,505$ ), для  $Ra0 = 0.4\text{ мм}$  при  $\alpha_{py1} = 5^\circ$

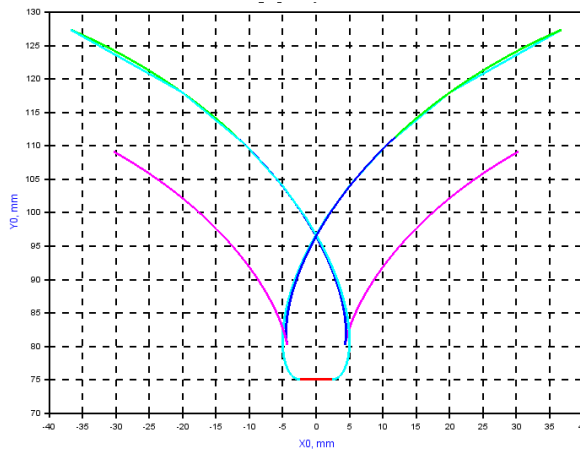


Рисунок 2.11 – Огинаючі профілю рейки ( $Ra0 = 0.4\text{ мм}$  при  $\alpha_{py1} = 5^\circ$ )

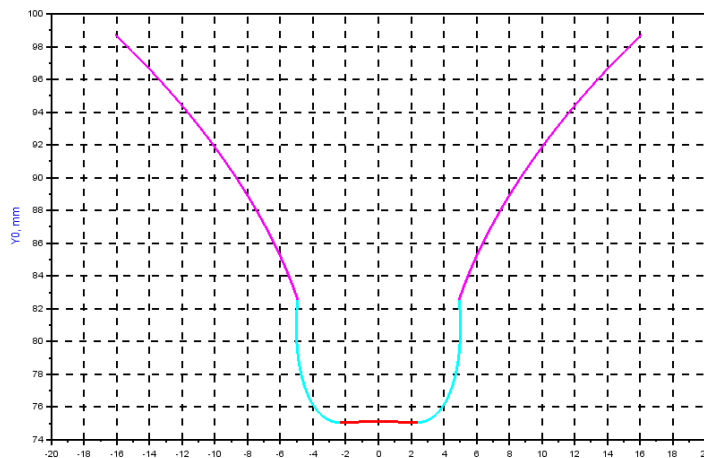


Рисунок 2.12 – Профіль зуба ( $Ra0 = 0.4\text{ мм}$  при  $\alpha_{py1} = 5^\circ$ )

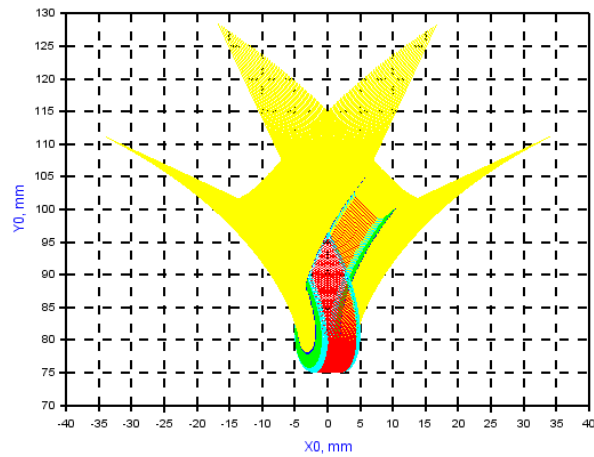


Рисунок 2.13 – Сімейство кривих профілю рейки при огинанні по схемі кочення без ковзання пряма-колесо ( $m = 10\text{мм}$ ,  $z = 17$ ,  $x = 0,505$ ), для  $Ra0 = 0.8\text{ мм}$  при  $\alpha_{py1} = 5^\circ$

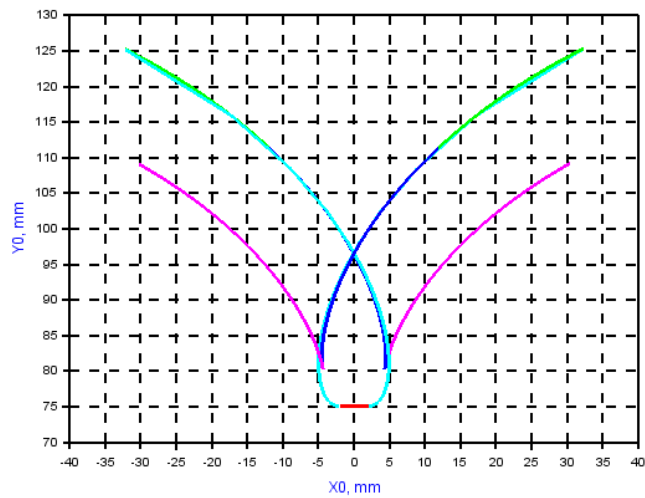


Рисунок 2.14 – Огинаючі профілю рейки ( $Ra0 = 0.8\text{ мм}$  при  $\alpha_{py1} = 5^\circ$ )

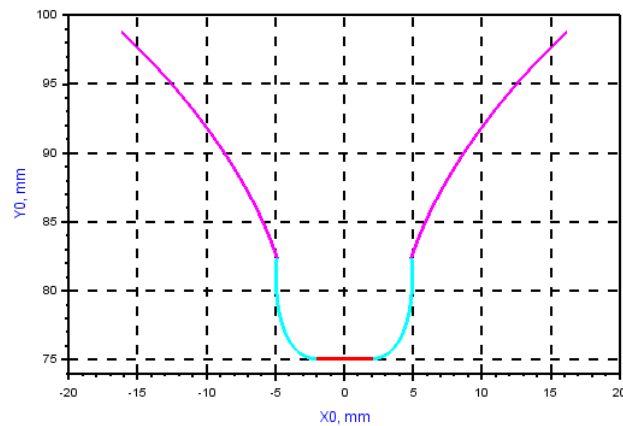


Рисунок 2.15 – Профіль зуба ( $Ra0 = 0.8\text{ мм}$  при  $\alpha_{py1} = 5^\circ$ )

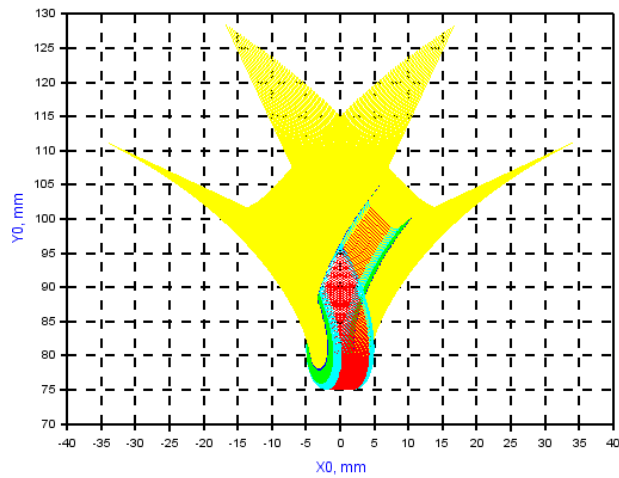


Рисунок 2.16 – Сімейство кривих профілю рейки при огинанні по схемі кочення без ковзання пряма-колесо ( $m = 10\text{ мм}$ ,  $z = 17$ ,  $x = 0,505$ ), для  $Ra0 = 1\text{ мм}$  при  $\alpha_{y1} = 5^\circ$

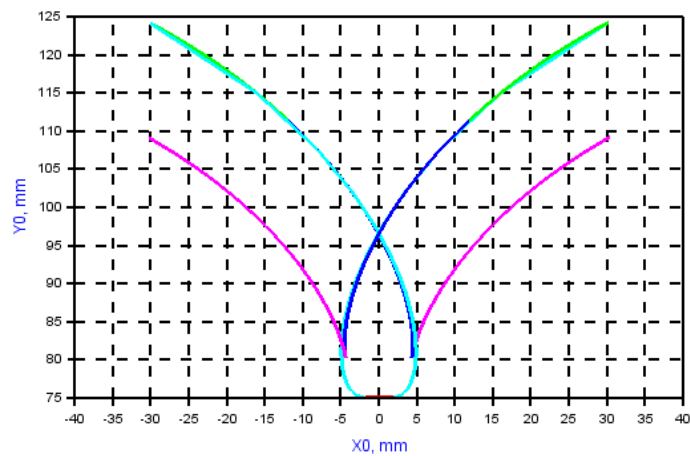


Рисунок 2.17 – Огинаючі профілю рейки ( $Ra0 = 1\text{ мм}$  при  $\alpha_{y1} = 5^\circ$ )

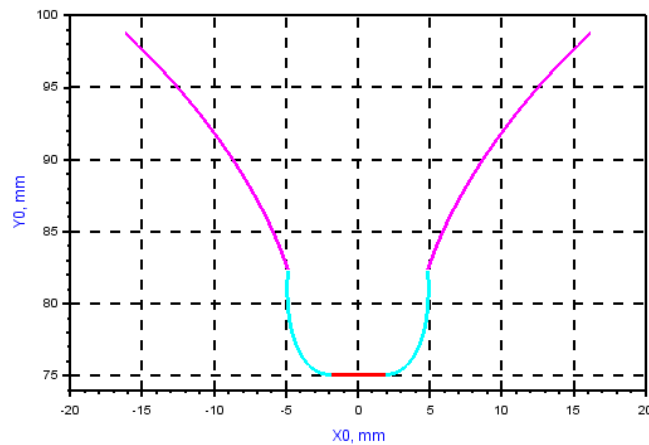


Рисунок 2.18 – Профіль зуба ( $Ra0 = 1\text{ мм}$  при  $\alpha_{y1} = 5^\circ$ )

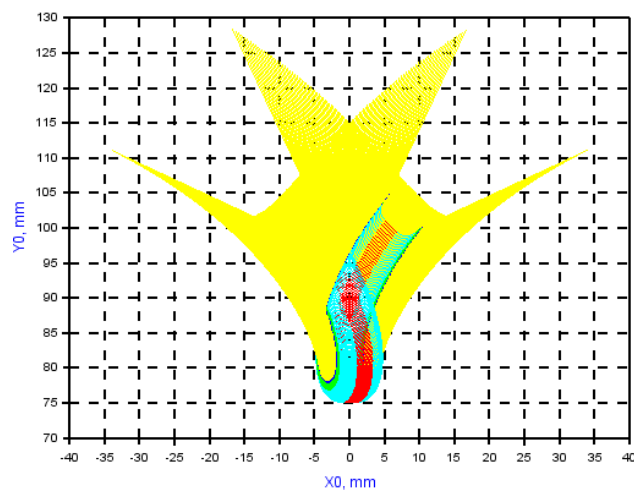


Рисунок 2.19 – Сімейство кривих профілю рейки при огинанні по схемі кочення без ковзання пряма-колесо ( $m = 10\text{мм}$ ,  $z = 17$ ,  $\chi = 0,505$ ), для  $Ra0 = 2\text{ мм}$  при  $\alpha_{y1} = 5^\circ$

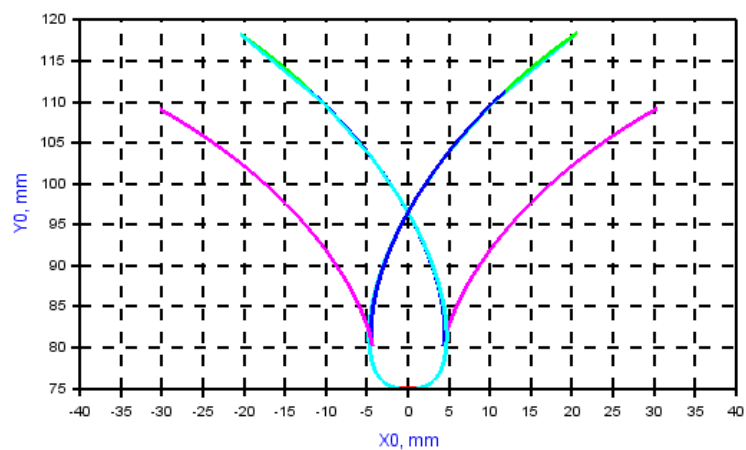


Рисунок 2.20 – Огинаючі профілю рейки ( $Ra0 = 2\text{ мм}$  при  $\alpha_{y1} = 5^\circ$ )

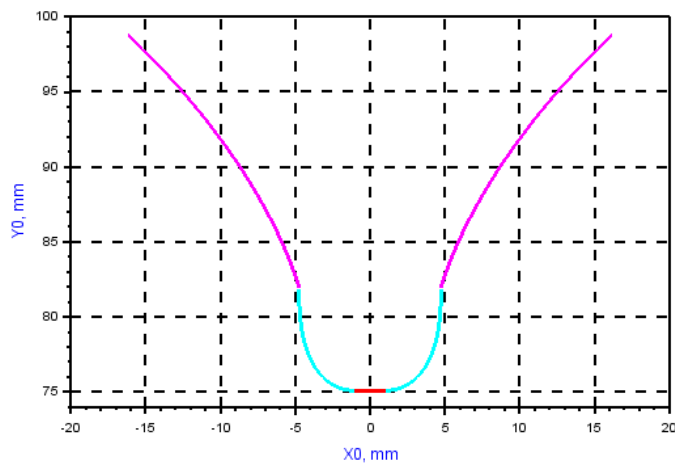


Рисунок 2.21 – Профіль зуба ( $Ra0 = 2\text{ мм}$  при  $\alpha_{y1} = 5^\circ$ )



Далі необхідно порівняти отримані результати з профілем зубу який даний в завданні, користуючись програмою Компас 3D, отримали наступні профілі перехідних поверхонь зуба (рис 2.22).

$$\alpha_{пу1} = 5^\circ$$

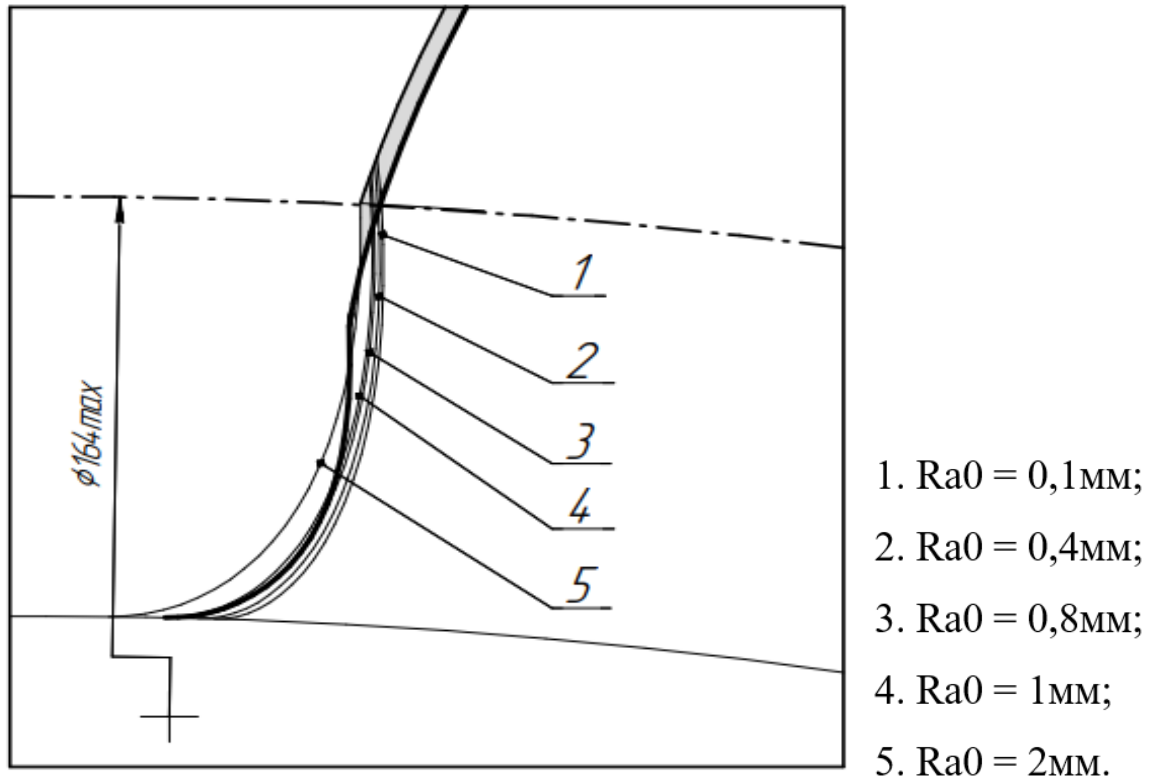


Рисунок 2.22 – Перехідні криві профілю

Після цього, повторюємо дослід, але кут профіля протуберанця приймаємо  $\alpha_{пу1} = 10^\circ$ . Результати наведені на (рис 2.23-2.37)

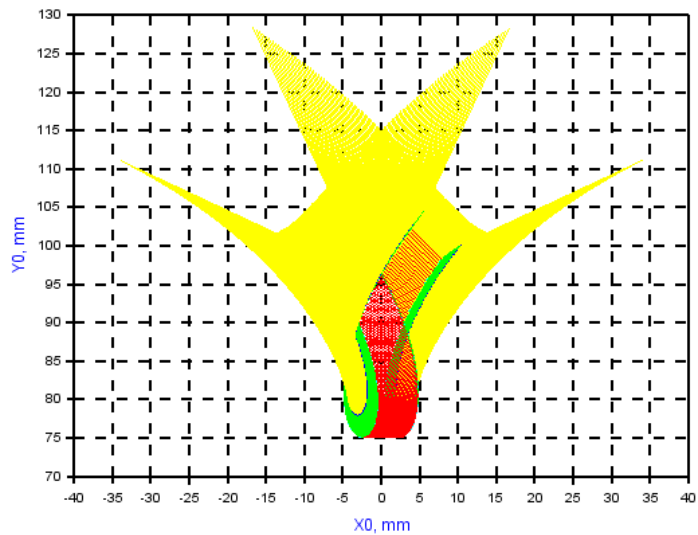


Рисунок 2.23 – Сімейство кривих профілю рейки при огинанні по схемі кочення без ковзання пряма-колесо ( $m = 10\text{ мм}$ ,  $z = 17$ ,  $x = 0,505$ ), для  $Ra0 = 0,1\text{ мм}$  при  $\alpha_{py1} = 10^\circ$

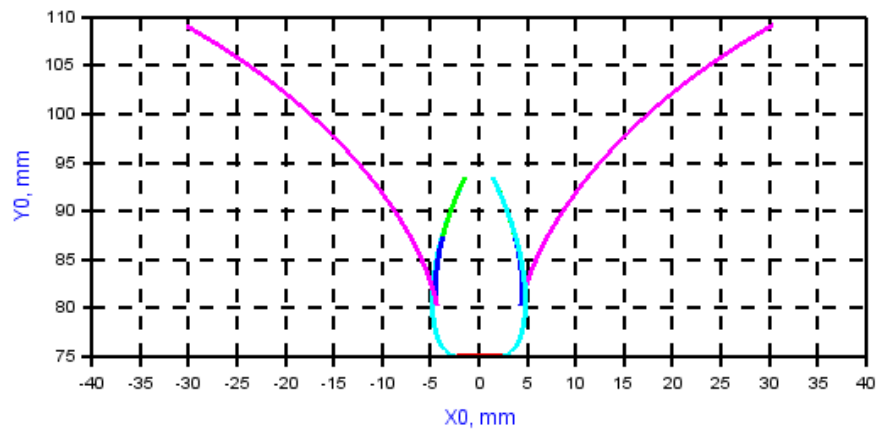


Рисунок 2.24 – Огинаючі профілю рейки ( $Ra0 = 0,1\text{ мм}$  при  $\alpha_{py1} = 10^\circ$ )

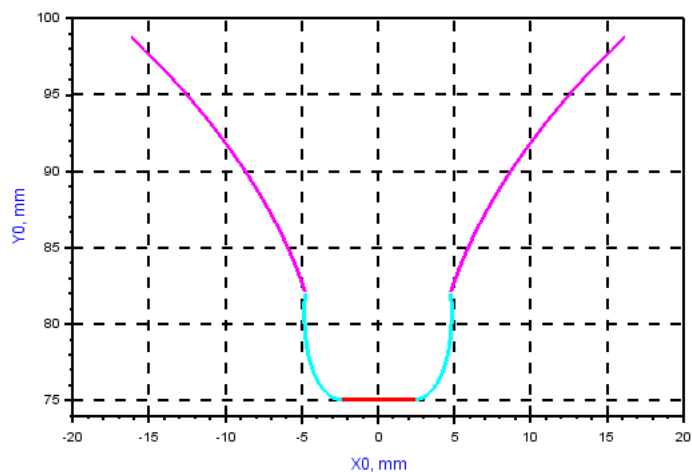


Рисунок 2.25 – Профіль зуба ( $Ra0 = 0,1\text{ мм}$  при  $\alpha_{py1} = 10^\circ$ )

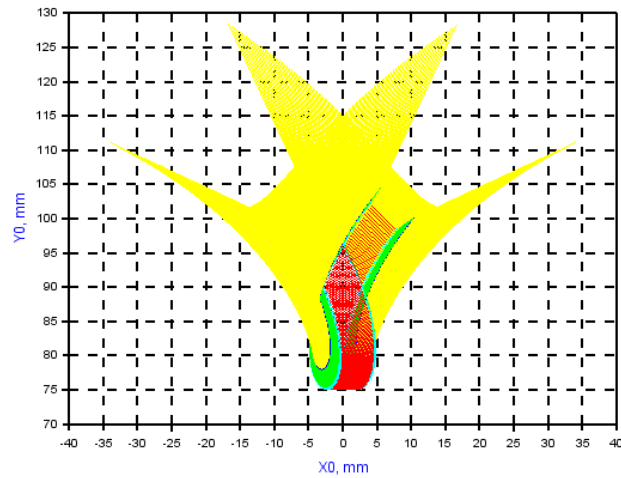


Рисунок 2.26 – Сімейство кривих профілю рейки при огинанні по схемі кочення без ковзання пряма-колесо ( $m = 10\text{ мм}$ ,  $z = 17$ ,  $x = 0,505$ ), для  $Ra0 = 0,4\text{ мм}$  при  $\alpha_{nu1} = 10^\circ$

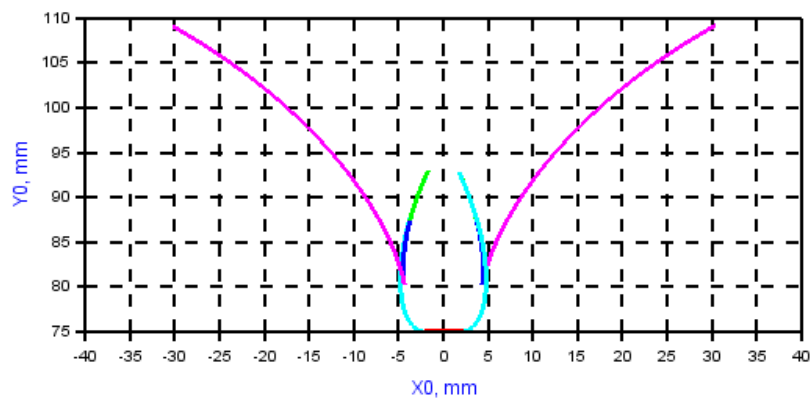


Рисунок 2.27 – Огинаючі профілю рейки ( $Ra0 = 0,4\text{ мм}$  при  $\alpha_{nu1} = 10^\circ$ )

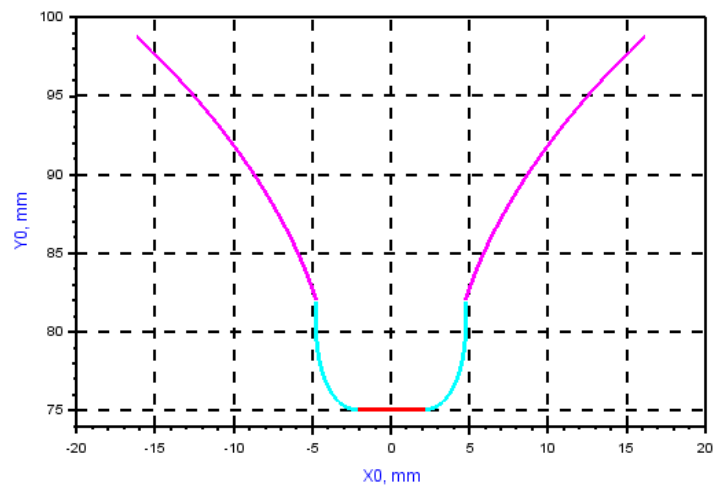


Рисунок 2.28 – Профіль зуба ( $Ra0 = 0,4\text{ мм}$  при  $\alpha_{nu1} = 10^\circ$ )

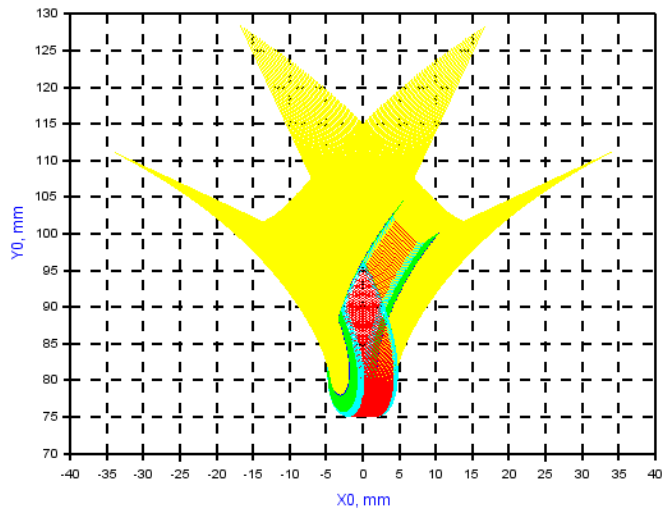


Рисунок 2.29 – Сімейство кривих профілю рейки при огинанні по схемі кочення без ковзання пряма-колесо ( $m = 10\text{ мм}$ ,  $z = 17$ ,  $\chi = 0,505$ ), для  $Ra0 = 0,8\text{ мм}$  при  $\alpha_{py1} = 10^\circ$

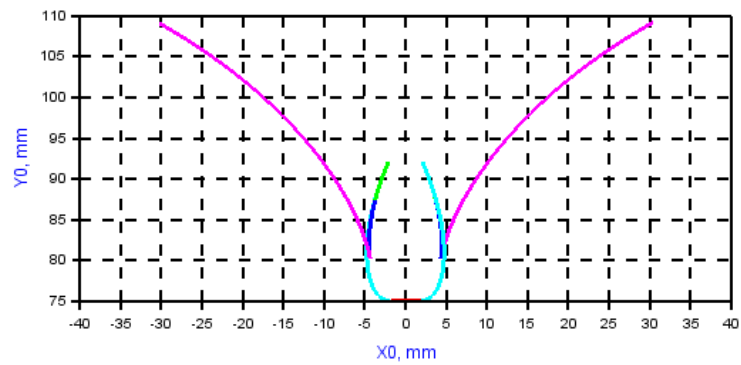


Рисунок 2.30 – Огинаючі профілю рейки ( $Ra0 = 0,8\text{ мм}$  при  $\alpha_{py1} = 10^\circ$ )

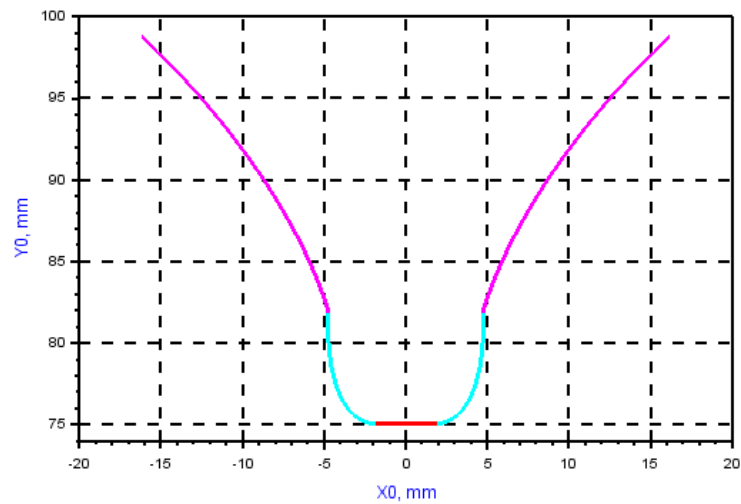


Рисунок 2.31 – Профіль зуба ( $Ra0 = 0,8\text{ мм}$  при  $\alpha_{py1} = 10^\circ$ )

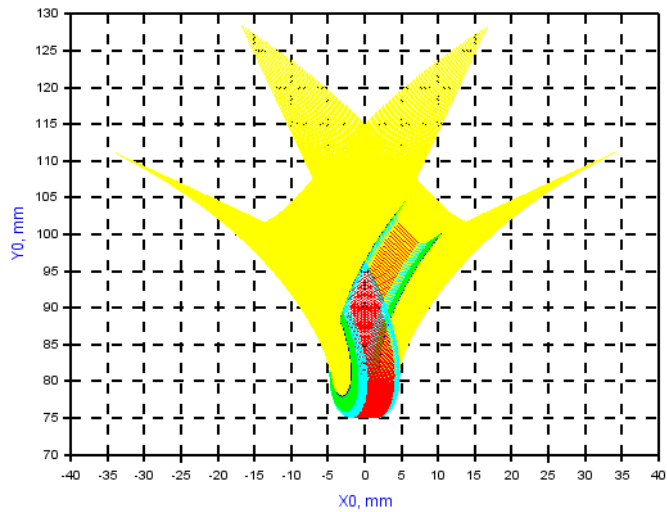


Рисунок 2.32 – Сімейство кривих профілю рейки при огинанні по схемі кочення без ковзання пряма-колесо ( $m = 10\text{мм}$ ,  $z = 17$ ,  $x = 0,505$ ), для  $Ra0 = 1\text{ мм}$  при  $\alpha_{py1} = 10^\circ$

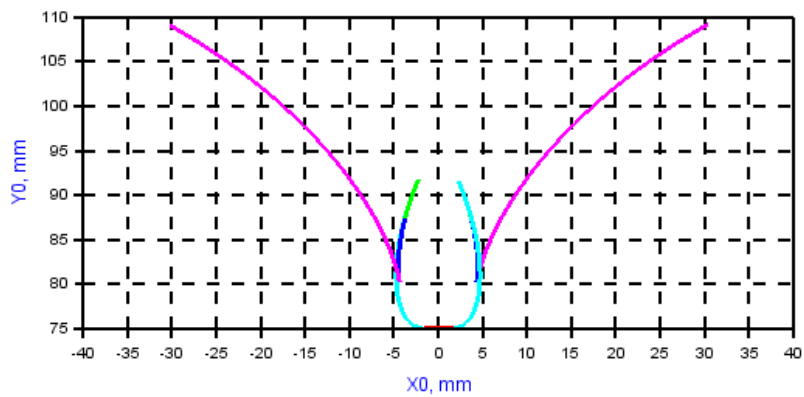


Рисунок 2.33 – Огинаючі профілю рейки ( $Ra0 = 1\text{ мм}$  при  $\alpha_{py1} = 10^\circ$ )

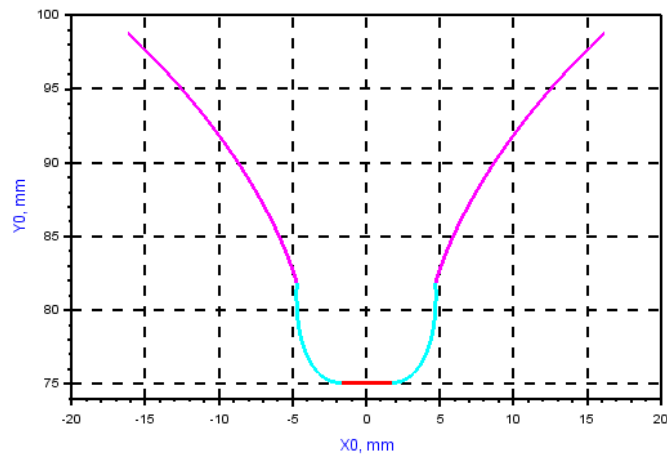


Рисунок 2.34 – Профіль зуба ( $Ra0 = 1\text{ мм}$  при  $\alpha_{py1} = 10^\circ$ )

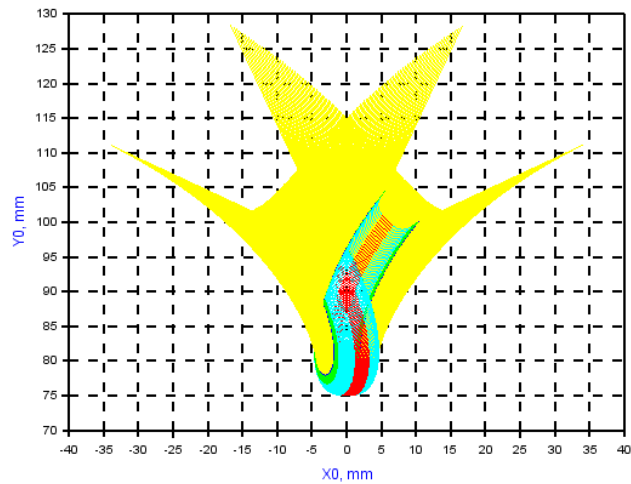


Рисунок 2.35 – Сімейство кривих профілю рейки при огинанні по схемі кочення без ковзання пряма-колесо ( $m = 10\text{мм}$ ,  $z = 17$ ,  $\chi = 0,505$ ), для  $Ra0 = 2\text{ мм}$  при  $\alpha_{py1} = 10^\circ$

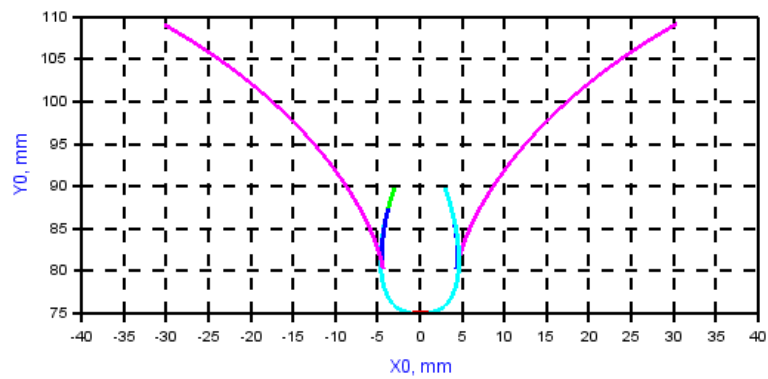


Рисунок 2.36 – Огинаючі профілю рейки ( $Ra0 = 2\text{ мм}$  при  $\alpha_{py1} = 10^\circ$ )

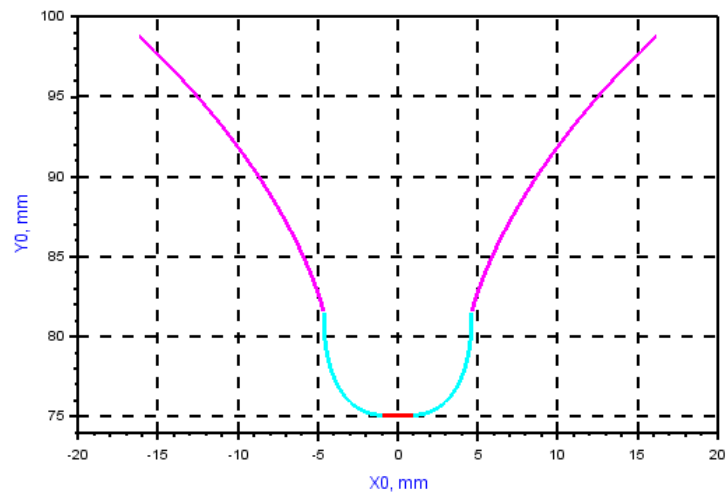


Рисунок 2.37 – Профіль зуба ( $Ra0 = 2\text{ мм}$  при  $\alpha_{py1} = 10^\circ$ )

Порівнюємо отримані результати з профілем зубу який даний нам в завданні, користуючись програмою Компас 3D, ми отримали наступні профілі перехідних поверхонь зуба (рис 2.38).

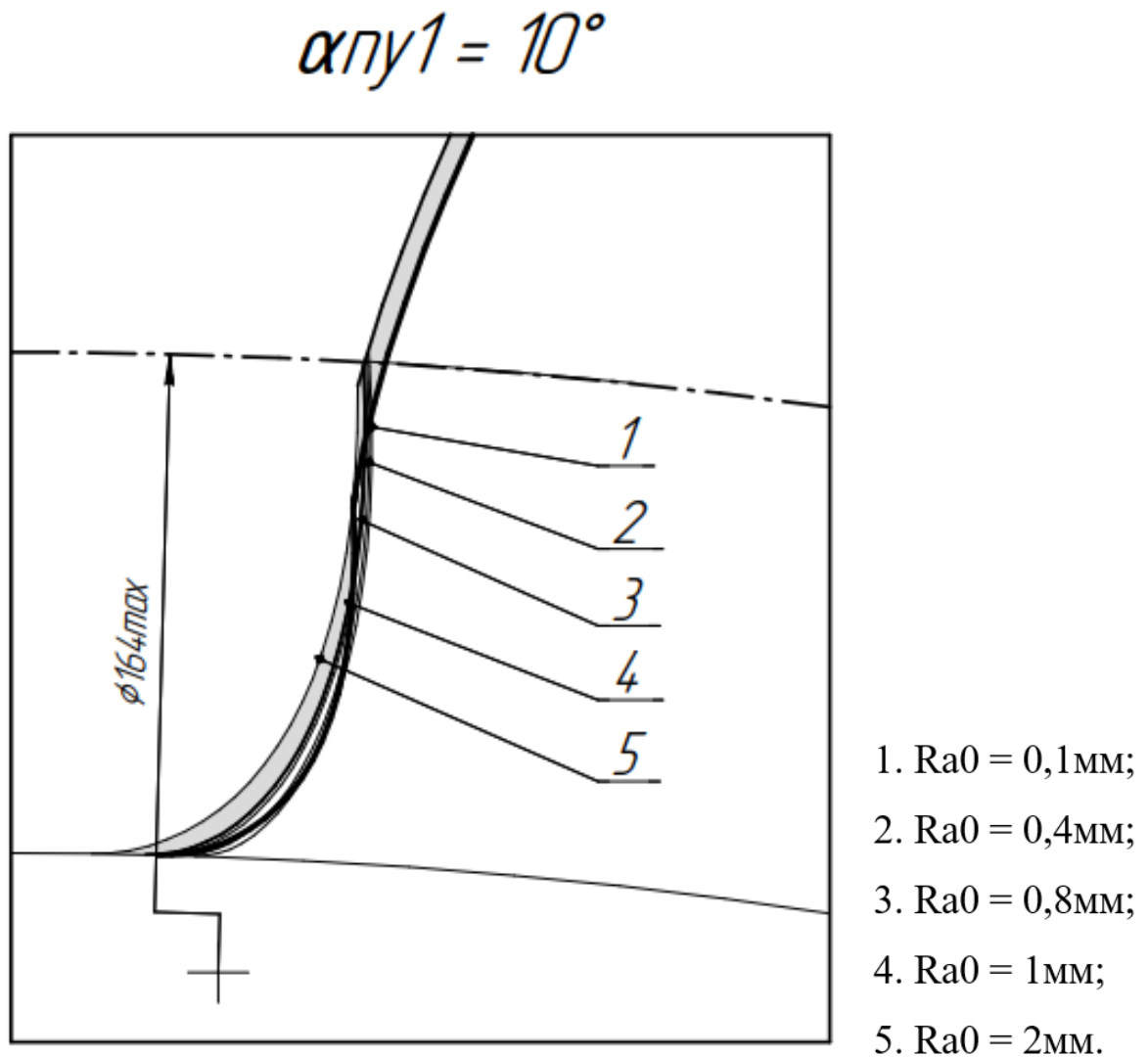


Рисунок 2.38 – Перехідні криві профілю

Наступним кроком приймаємо , кут профіля протуберанця  $\alpha_{пу1} = 15^\circ$ .

Результати дослідів наведені на (рис 39-

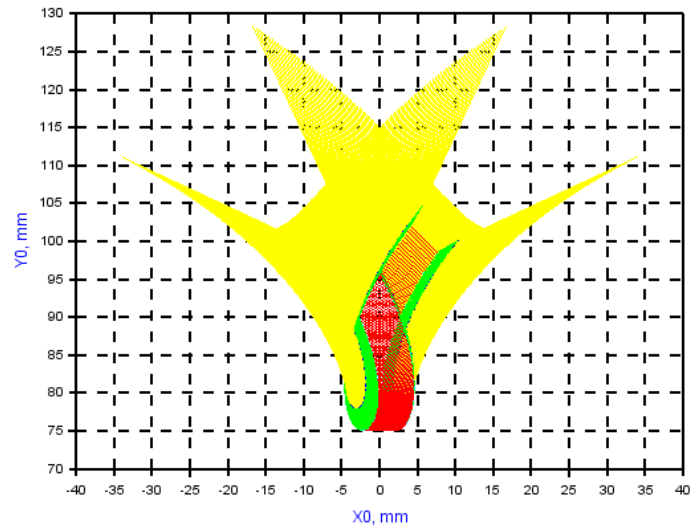


Рисунок 2.39 – Сімейство кривих профілю рейки при огинанні по схемі кочення без ковзання пряма-колесо ( $m = 10\text{мм}$ ,  $z = 17$ ,  $x = 0,505$ ), для  $Ra0 = 0,1\text{ мм}$  при  $\alpha_{y1} = 15^\circ$

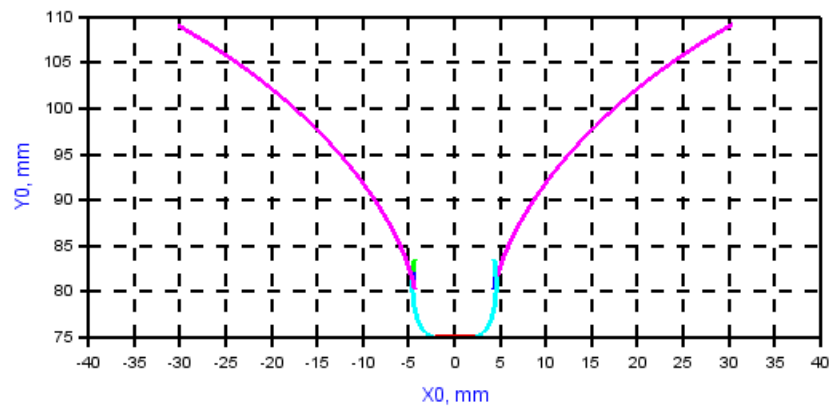


Рисунок 2.40 – Огинаючі профілю рейки ( $Ra0 = 0,1\text{ мм}$  при  $\alpha_{y1} = 15^\circ$ )

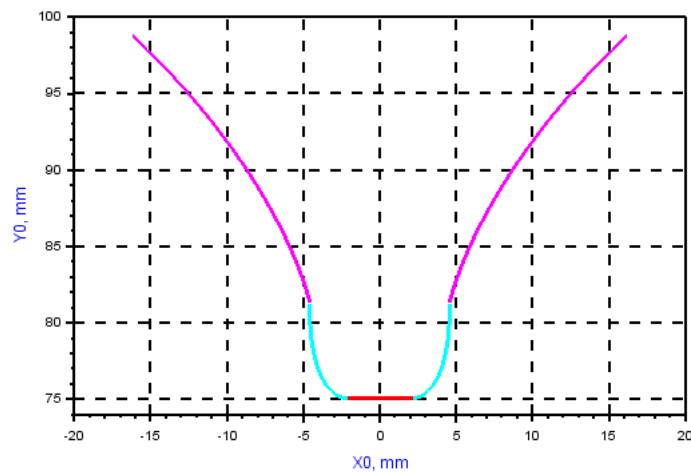


Рисунок 2.41 – Профіль зуба ( $Ra0 = 0,1\text{ мм}$  при  $\alpha_{y1} = 15^\circ$ )



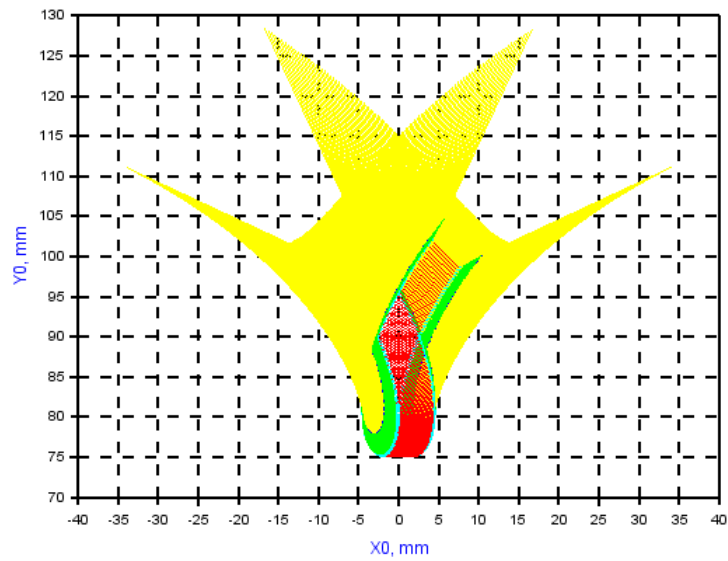


Рисунок 2.42 – Сімейство кривих профілю рейки при огинанні по схемі кочення без ковзання пряма-колесо ( $m = 10\text{ мм}$ ,  $z = 17$ ,  $x = 0,505$ ), для  $Ra0 = 0,4\text{ мм}$  при  $\alpha_{py1} = 15^\circ$

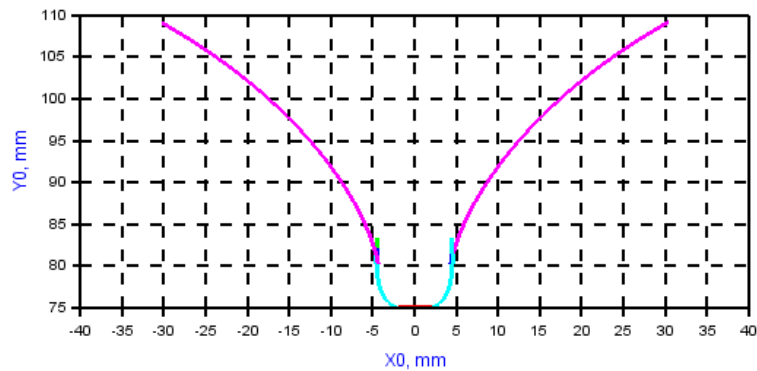


Рисунок 2.43 – Огинаючі профілю рейки ( $Ra0 = 0,4\text{ мм}$  при  $\alpha_{py1} = 15^\circ$ )

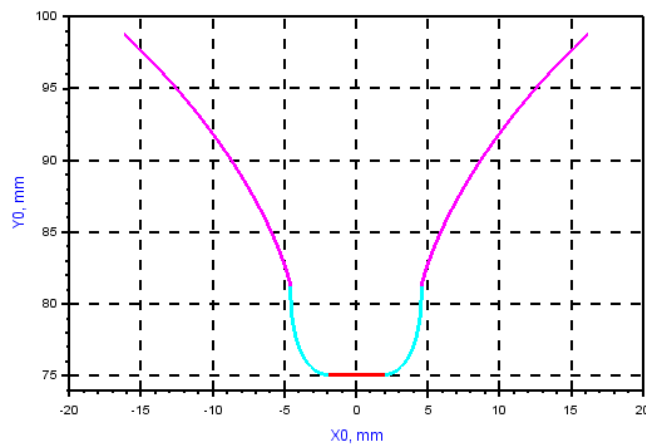


Рисунок 2.44 – Профіль зуба ( $Ra0 = 0,4\text{ мм}$  при  $\alpha_{py1} = 15^\circ$ )

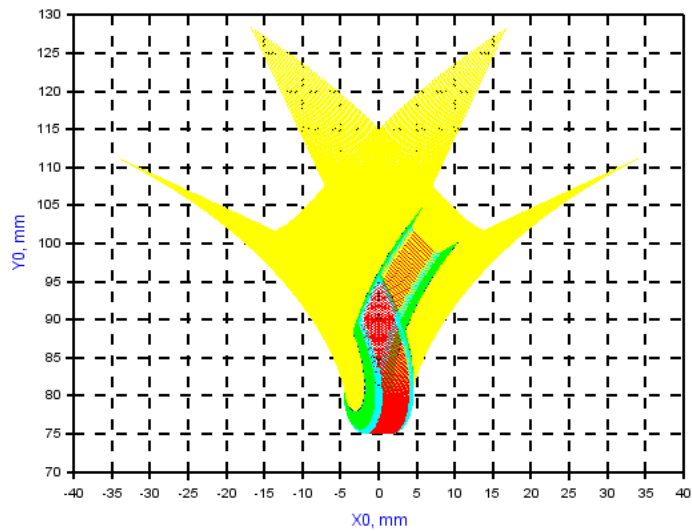


Рисунок 2.45 – Сімейство кривих профілю рейки при огинанні по схемі кочення без ковзання пряма-колесо ( $m = 10\text{ мм}$ ,  $z = 17$ ,  $x = 0,505$ ), для  $Ra0 = 0,8\text{ мм}$  при  $\alpha_{py1} = 15^\circ$

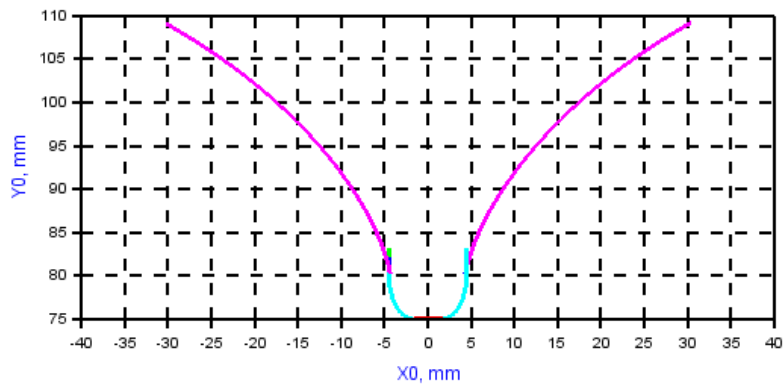


Рисунок 2.46 – Огинаючі профілю рейки ( $Ra0 = 0,8\text{ мм}$  при  $\alpha_{py1} = 15^\circ$ )

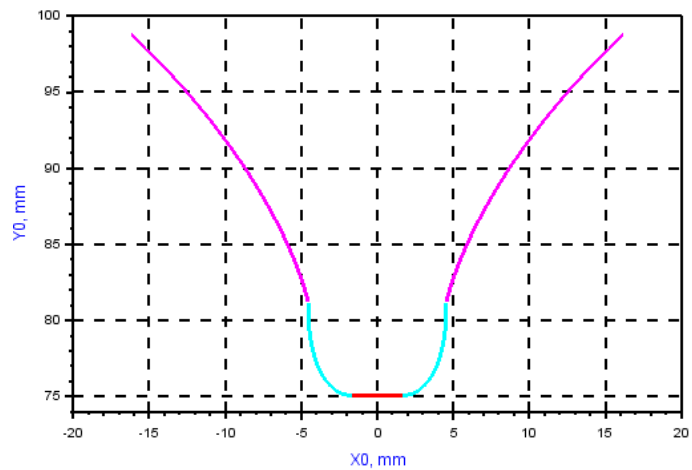


Рисунок 2.47 – Профіль зуба ( $Ra0 = 0,8\text{ мм}$  при  $\alpha_{py1} = 15^\circ$ )

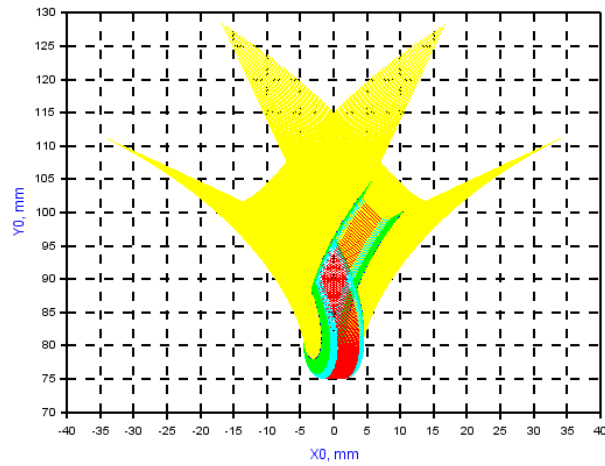


Рисунок 2.48 – Сімейство кривих профілю рейки при огинанні по схемі кочення без ковзання пряма-колесо ( $m = 10\text{ мм}$ ,  $z = 17$ ,  $x = 0,505$ ), для  $Ra0 = 1\text{ мм}$  при  $\alpha_{py1} = 15^\circ$

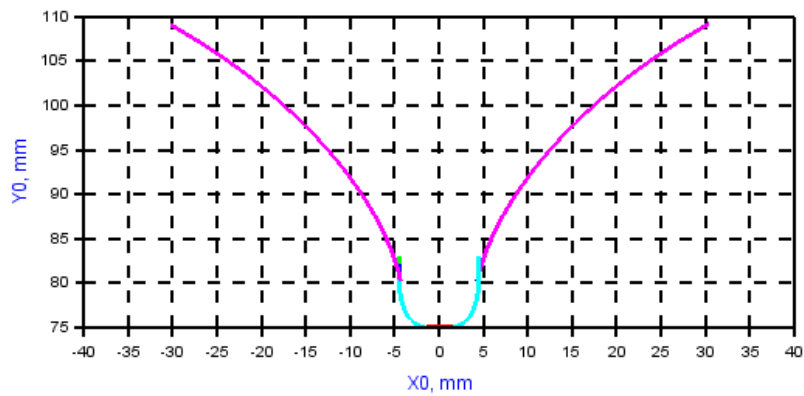


Рисунок 2.49 – Огинаючі профілю рейки ( $Ra0 = 1\text{ мм}$  при  $\alpha_{py1} = 15^\circ$ )

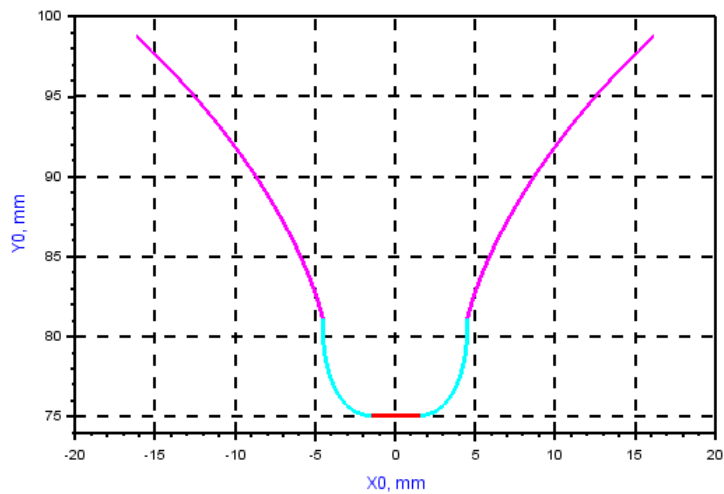


Рисунок 2.50 – Профіль зуба ( $Ra0 = 1\text{ мм}$  при  $\alpha_{py1} = 15^\circ$ )

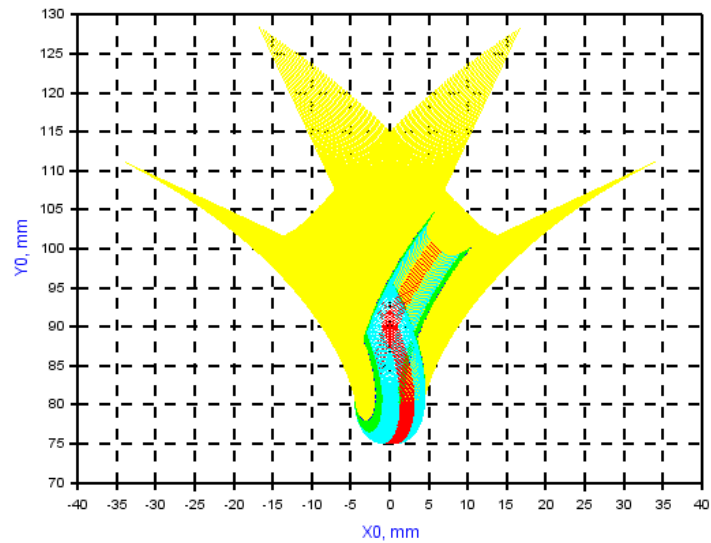


Рисунок 2.51 – Сімейство кривих профілю рейки при огинанні по схемі кочення без ковзання пряма-колесо ( $m = 10\text{ мм}$ ,  $z = 17$ ,  $x = 0,505$ ), для  $Ra0 = 2\text{ мм}$  при  $\alpha_{py1} = 15^\circ$

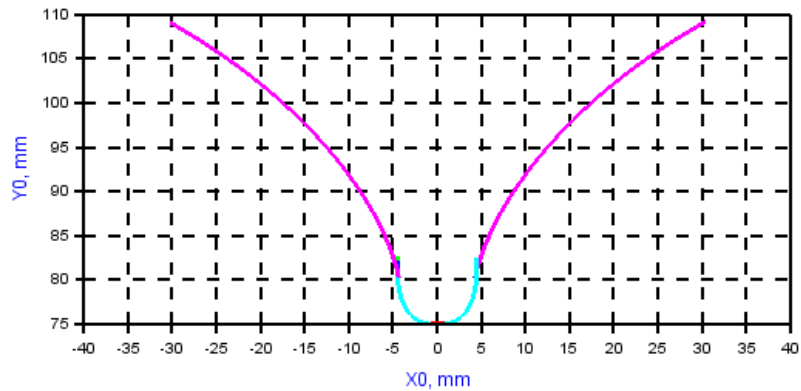


Рисунок 2.52 – Огинаючі профілю рейки ( $Ra0 = 2\text{ мм}$  при  $\alpha_{py1} = 15^\circ$ )

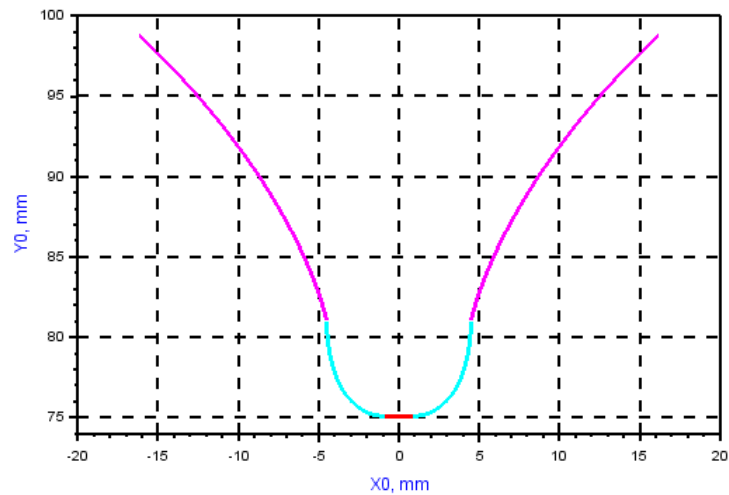


Рисунок 2.53 – Профіль зуба ( $Ra0 = 2\text{ мм}$  при  $\alpha_{py1} = 15^\circ$ )

Порівнюємо отримані результати з профілем зубу який даний в завданні, користуючись програмою Компас 3D (рис 2.54).

$$\alpha_{пу1} = 15^\circ$$

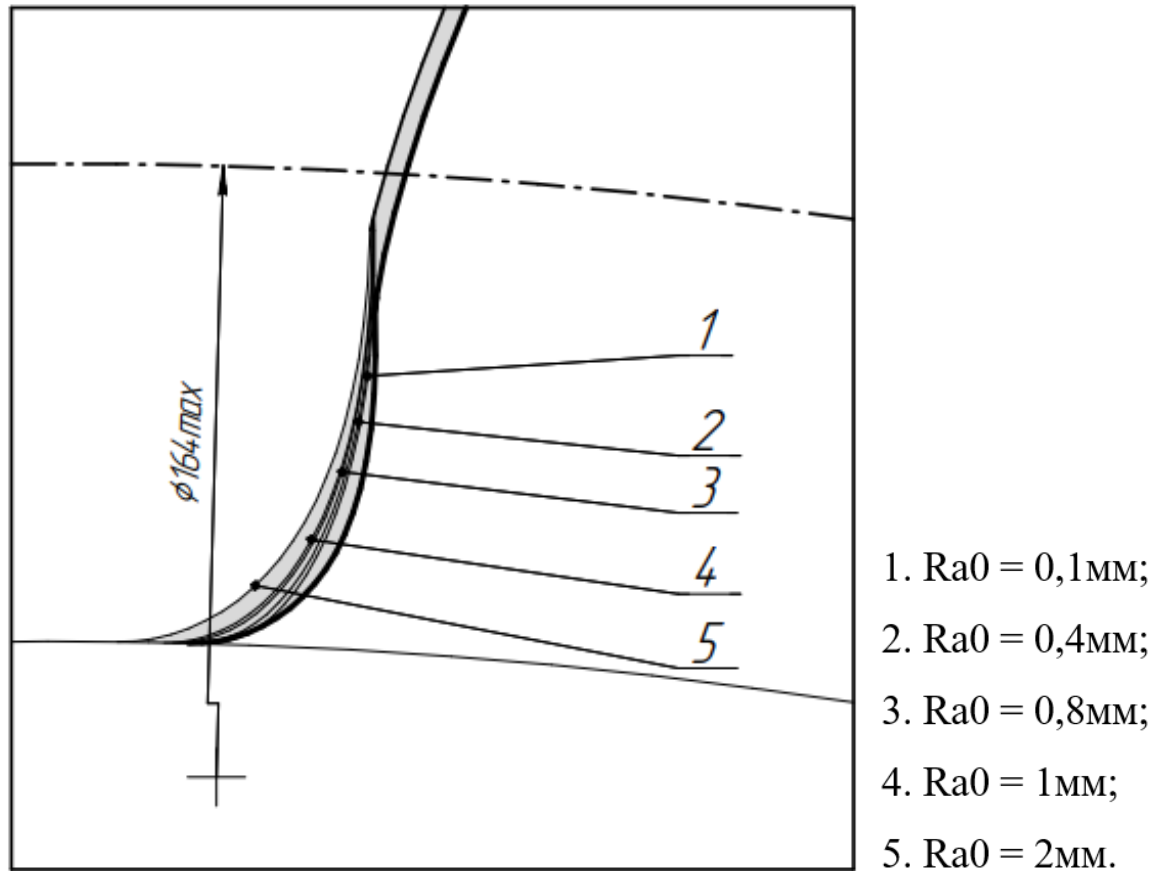
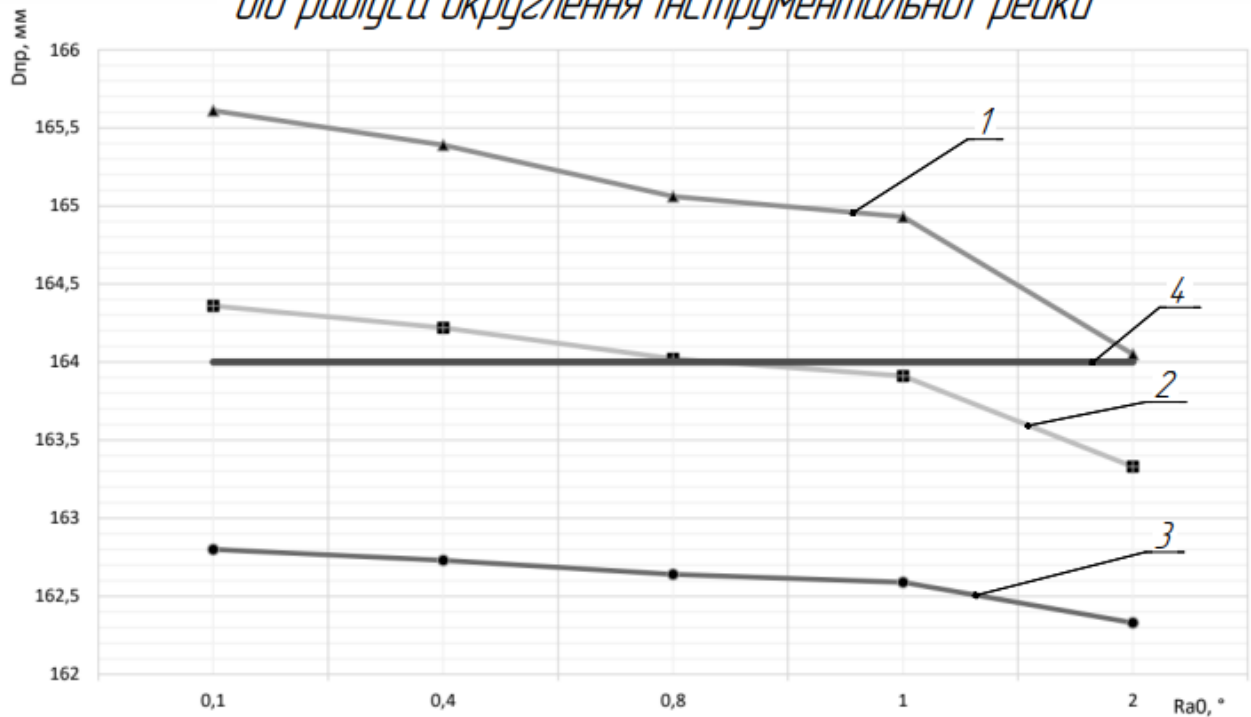


Рисунок 2.54 – Перехідні криві профілю

Для порівняння всіх результатів було створено графік залежності величини максимального радіуса перехідної кривої зубчастого колеса (згідно завдання  $D_{\max} = 164\text{ мм}$ ) від радіуса округлення інструментальної кривої (рис 2.55).

Відповідно до розрахунків отриманих в дослідні видно, що радіуси округлення вершини зуба  $Ra0 = 0.1; 0.4; 0.8; 1; 2\text{ мм}$  при  $\alpha_{пу1} = 5^\circ$ , та  $Ra0 = 0.1; 0.4; 0.8\text{ мм}$  при  $\alpha_{пу1} = 10^\circ$  не підходять, адже діаметри граничних положень перехідних поверхонь зубу колес перевищують максимальне значення по завданню. ( $D_{\max} = 164\text{ мм}$ ).

*Залежність величини  $r_{\text{max}}$  радіуса  
перехідної кривої зубчастого колеса  
від радіуса округлення інструментальної рейки*



*1.  $\alpha_{n1} = 5^\circ$ ; 2.  $\alpha_{n1} = 10^\circ$ ; 3.  $\alpha_{n1} = 15^\circ$ ; 4.  $D_{\text{max}} = 164 \text{ мм}$ .*

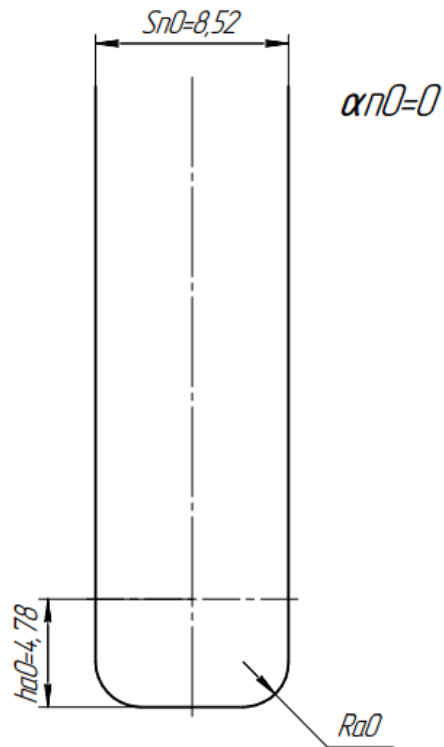
Рисунок 2.55 – Вплив радіуса при вершині інструментальної рейки на граничну точку перехідної кривої зубу колеса, при різних кутах протуберанця

Можна зробити висновок, що при збільшенні кута профіля протуберанця, та радіуса заокруглення вершини зуба - діаметр перехідної поверхні буде зменшуватись.

Далі було проведено дослідження формоутворення профілю зуба, рейкою без протуберанця з кутом профілю  $\alpha_{n0} = 0^\circ$  (рис. 2.56), яка має наступні геометричні параметри:

1. Головна товщина зуба  $S_{n0} = 8.52 \text{ мм}$ ;
2. Висота головки зуба  $h_{a0} = 4.78 \text{ мм}$ .
3. Кут профілю рейки  $\alpha_{n0} = 0^\circ$ ;

$$\alpha_{п0} = 0^\circ$$



*Sn0 – товщина зуба рейки на ділильному колі  
ha0 – висота головки зуба  
Ra0 – радіус округлення вершини зуба  
 $\alpha_{п0}$  – кут профілю рейки*

Рисунок 2.56 Ескіз рейки без протуберанця з кутом профілю  $\alpha_{п0} = 0^\circ$

Результати розрахунків наведені на (рис 2.57-2.61).

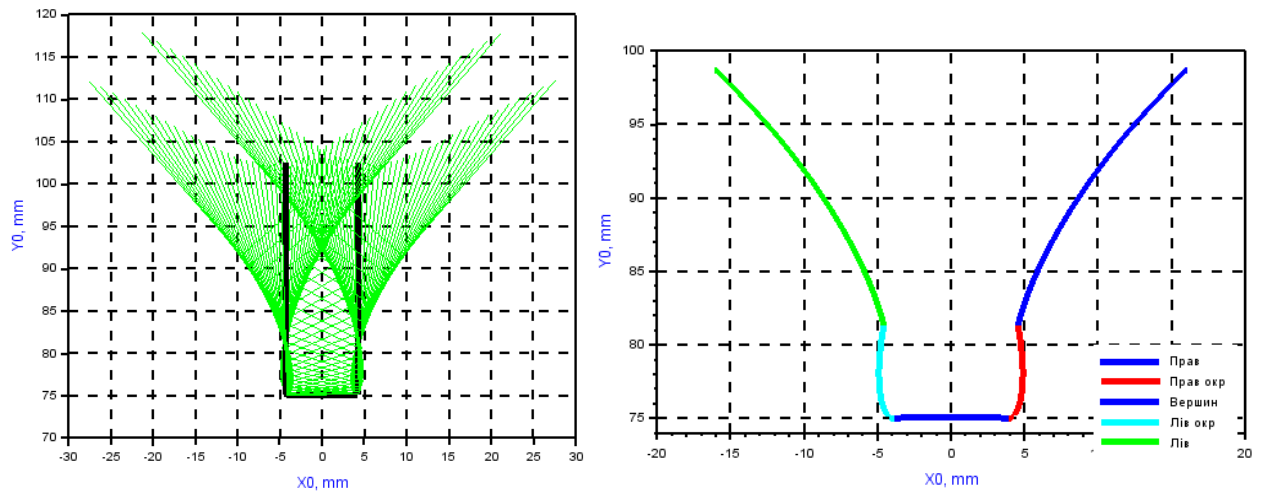


Рисунок 2.57 – а) Сімейство кривих профілю рейки при огинанні по схемі кочення

без ковзання пряма-колесо ( $m = 10\text{мм}$ ,  $z = 17$ ), для  $Ra0 = 0.1\text{ мм}$  при  $\alpha_{п0} = 0^\circ$

б) Профіль западин зубів колеса ( $m = 10\text{мм}$ ,  $z = 17$ ,  $x = 0,505$ ) для  $Ra0 = 0.1\text{ мм}$  при  $\alpha_{п0} = 0^\circ$

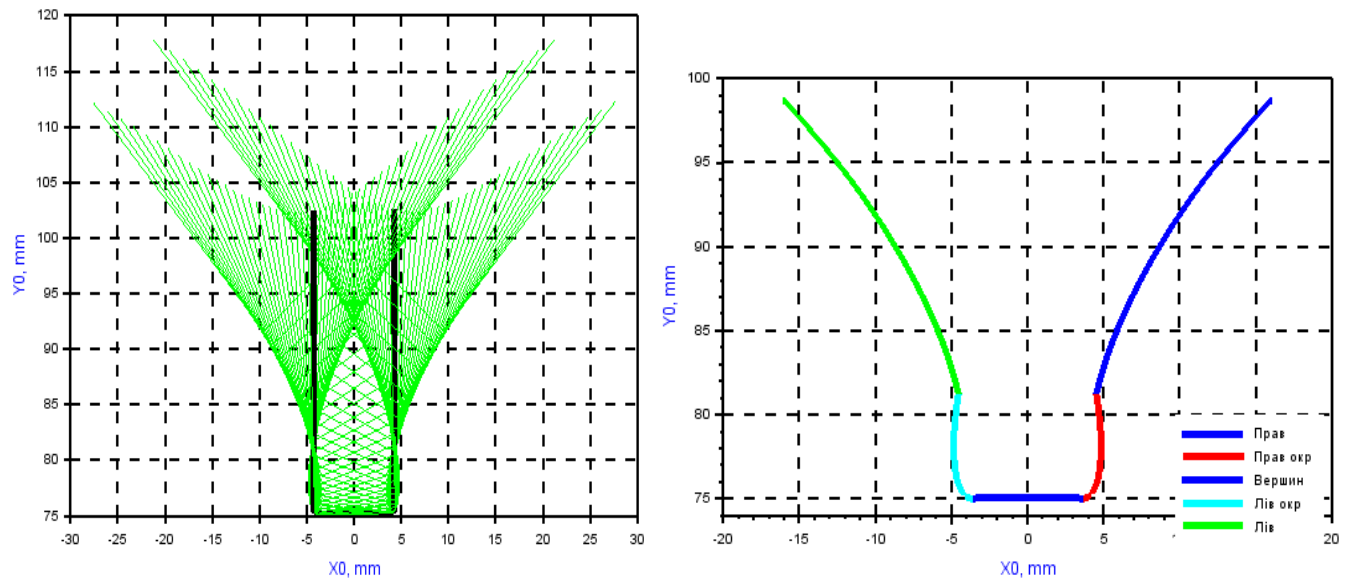


Рисунок 2.58 – а) Сімейство кривих профілю рейки при огинанні по схемі кочення без ковзання пряма-колесо ( $m = 10\text{мм}$ ,  $z = 17$ ), для  $Ra_0 = 0.4\text{ мм}$  при  $\alpha n_0 = 0^\circ$   
 б) Профіль западин зубів колеса ( $m = 10\text{мм}$ ,  $z = 17$ ,  $x = 0,505$ ) для  $Ra_0 = 0.4\text{ мм}$  при  $\alpha n_0 = 0^\circ$

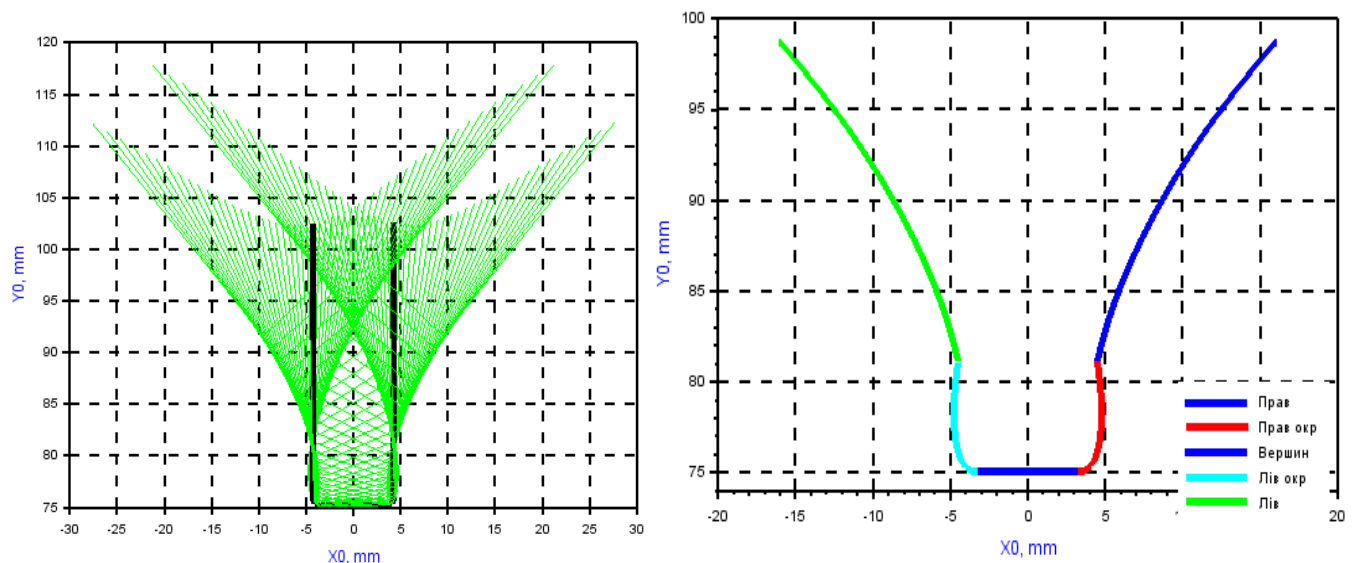


Рисунок 2.59 – а) Сімейство кривих профілю рейки при огинанні по схемі кочення без ковзання пряма-колесо ( $m = 10\text{мм}$ ,  $z = 17$ ), для  $Ra_0 = 0.8\text{ мм}$  при  $\alpha n_0 = 0^\circ$   
 б) Профіль западин зубів колеса ( $m = 10\text{мм}$ ,  $z = 17$ ,  $x = 0,505$ ) для  $Ra_0 = 0.8\text{ мм}$  при  $\alpha n_0 = 0^\circ$



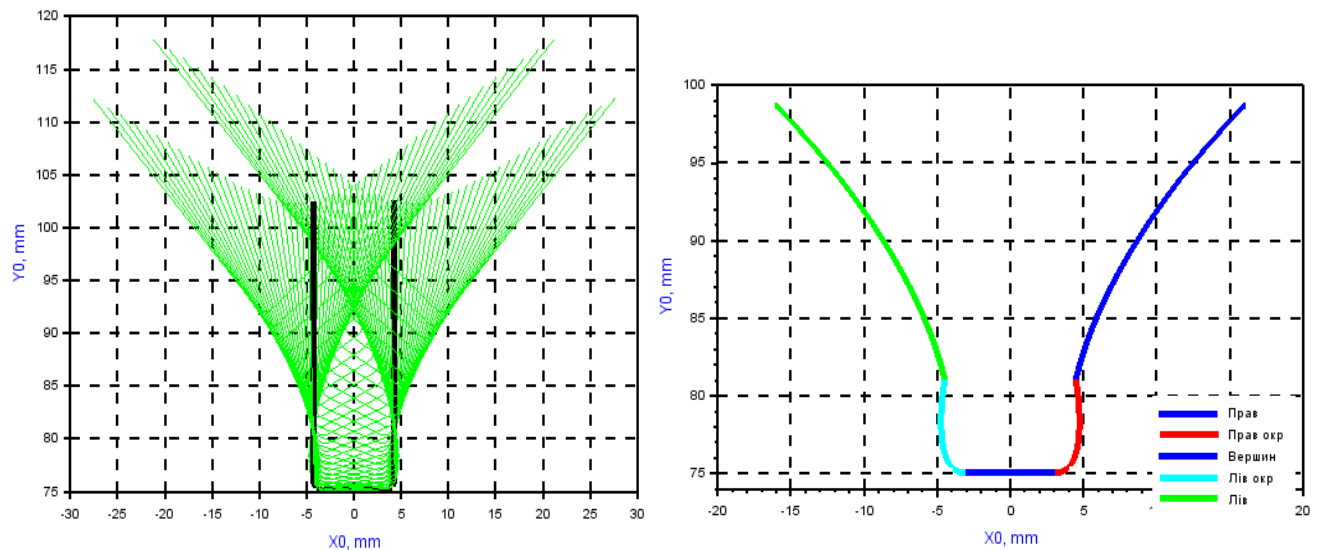


Рисунок 2.60 – а) Сімейство кривих профілю рейки при огинанні по схемі кочення

без ковзання пряма-колесо ( $m = 10\text{мм}$ ,  $z = 17$ ), для  $Ra0 = 1\text{ мм}$  при  $\alpha_{n0} = 0^\circ$

б) Профіль западин зубів колеса ( $m = 10\text{мм}$ ,  $z = 17$ ,  $x = 0,505$ ) для  $Ra0 = 1\text{ мм}$  при  $\alpha_{n0} = 0^\circ$

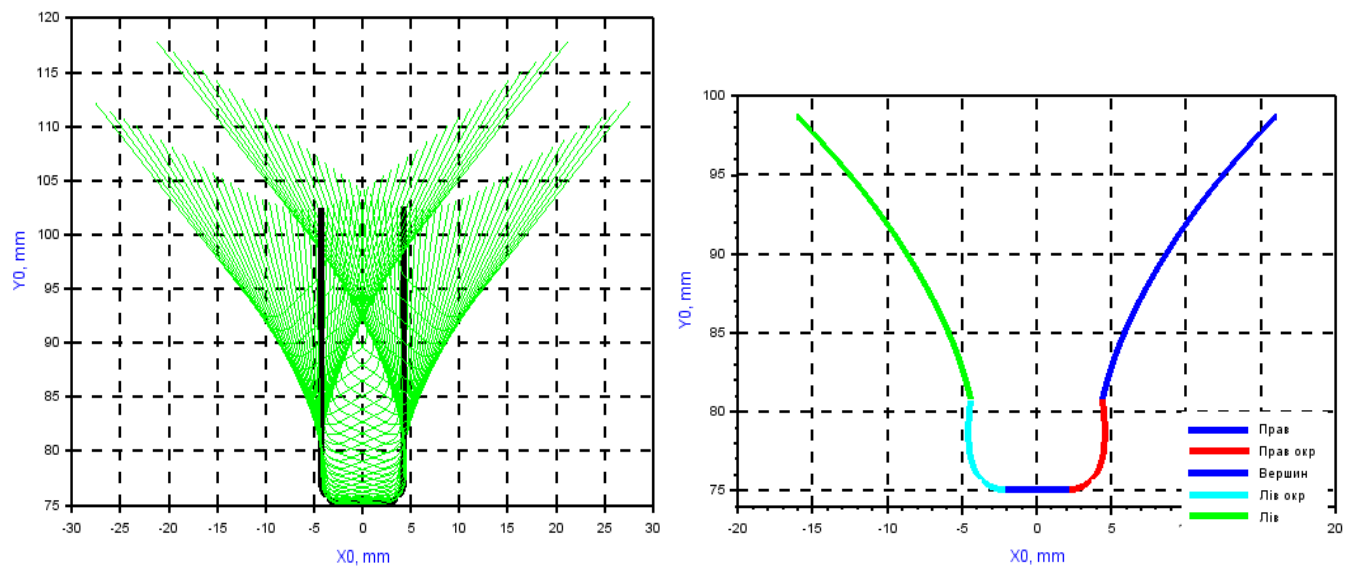


Рисунок 2.61 – а) Сімейство кривих профілю рейки при огинанні по схемі кочення

без ковзання пряма-колесо ( $m = 10\text{мм}$ ,  $z = 17$ ), для  $Ra0 = 2\text{ мм}$  при  $\alpha_{n0} = 0^\circ$

б) Профіль западин зубів колеса ( $m = 10\text{мм}$ ,  $z = 17$ ,  $x = 0,505$ ) для  $Ra0 = 2\text{ мм}$  при  $\alpha_{n0} = 0^\circ$

Порівнюючи отримані результати з профілем зубу який даний в завданні, користуючись програмою Компас 3D (рис 2.62).

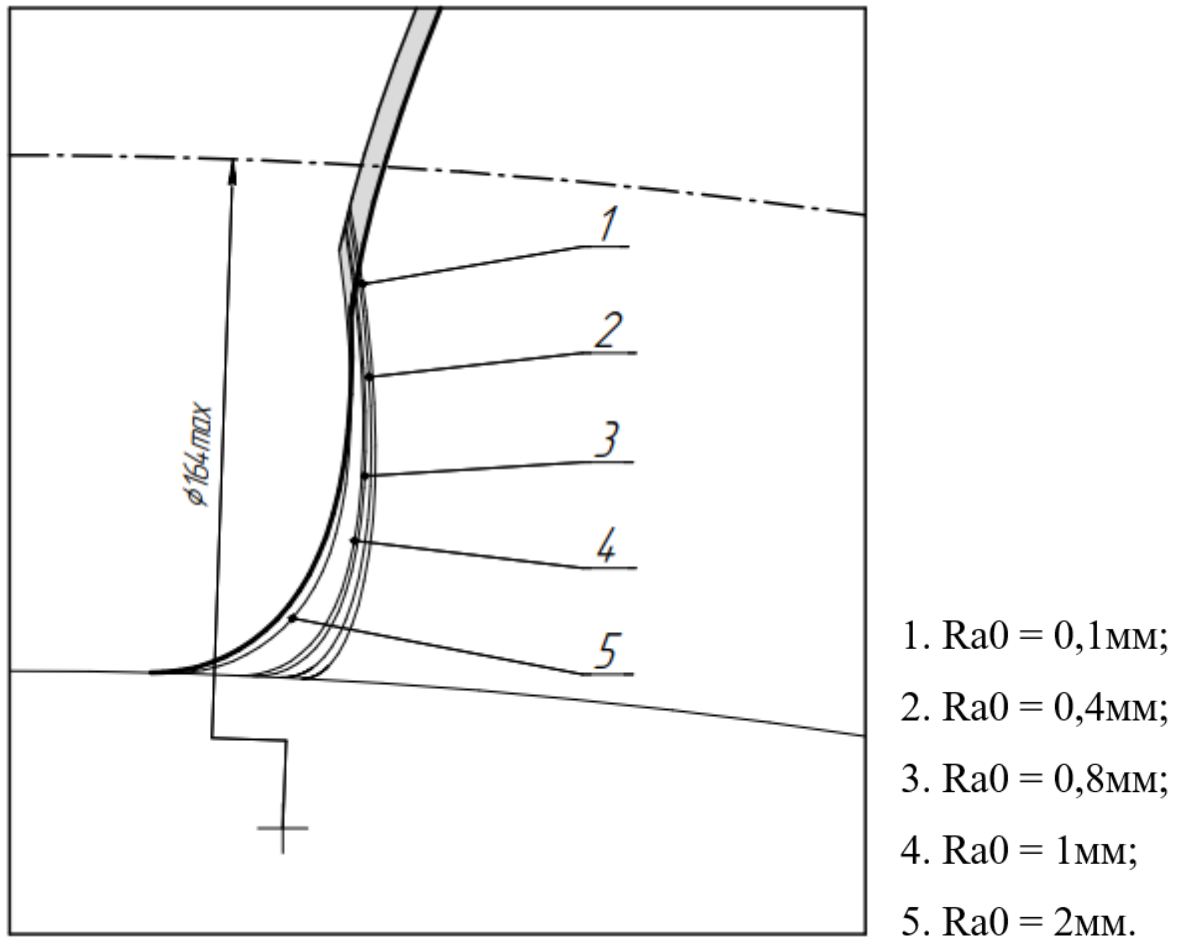
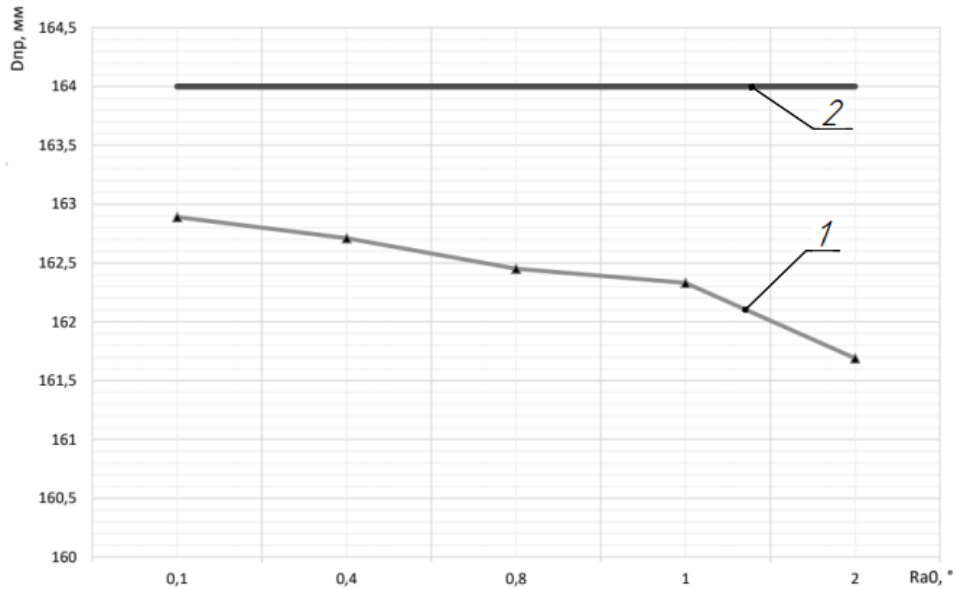


Рисунок 2.62 – Перехідні криві профілю

Далі наведено графік залежності величини максимального радіусу перехідної кривої зубчастого колеса (згідно завдання  $D_{\text{max}} = 164 \text{ мм}$ ) від радіуса округлення інструментальної рейки (рис 2.65).

Відповідно до розрахунків отриманих в дослідні видно, що радіуси округлення вершини зуба  $Ra0 = 0.1; 0.4; 0.8; 1; 2 \text{ мм}$  при  $\alpha_{\text{ny}1} = 5^\circ$ , та  $Ra0 = 0.1; 0.4; 0.8 \text{ мм}$  при  $\alpha_{\text{ny}1} = 10^\circ$  підходять, для реалізації профілю зубчастого колеса, адже діаметри граничних положень перехідних поверхонь зубу колес перевищують максимальне значення по завданню. ( $D_{\text{max}} = 164 \text{ мм}$ ).



*1.  $\alpha_{п0} = 0^\circ$ ; 2.  $D_{max} = 164 \text{ мм}$ .*

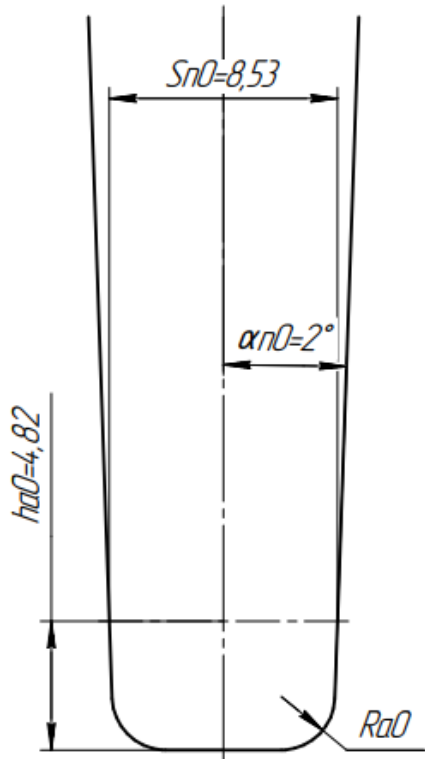
Рисунок 2.65 – Вплив радіуса при вершині інструментальної рейки на граничну точку перехідної кривої зубу колеса.

Також було проведено дослідження формоутворення профілю зуба, рейкою без протуберанця з кутом профілю  $\alpha_{п0} = 2^\circ$  (рис. 2.66), яка має наступні геометричні параметри:

1. Головна товщина зуба  $S_{n0} = 8.53 \text{ мм}$ ;
2. Висота головки зуба  $h_{a0} = 4.82 \text{ мм}$ ;
2. Кут профілю рейки  $\alpha_{п0} = 2^\circ$ ;

Результати розрахунків наведені на (рис 2.67-2.71).

$$\alpha n0 = 2^\circ$$



$Sn0$  – товщина зуба рейки на ділильному колі  
 $ha0$  – висота головки зуба  
 $Ra0$  – радіус округлення вершини зуба  
 $\alpha n0$  – кут профілю рейки

Рисунок 2.66 Ескіз рейки без протуберанця

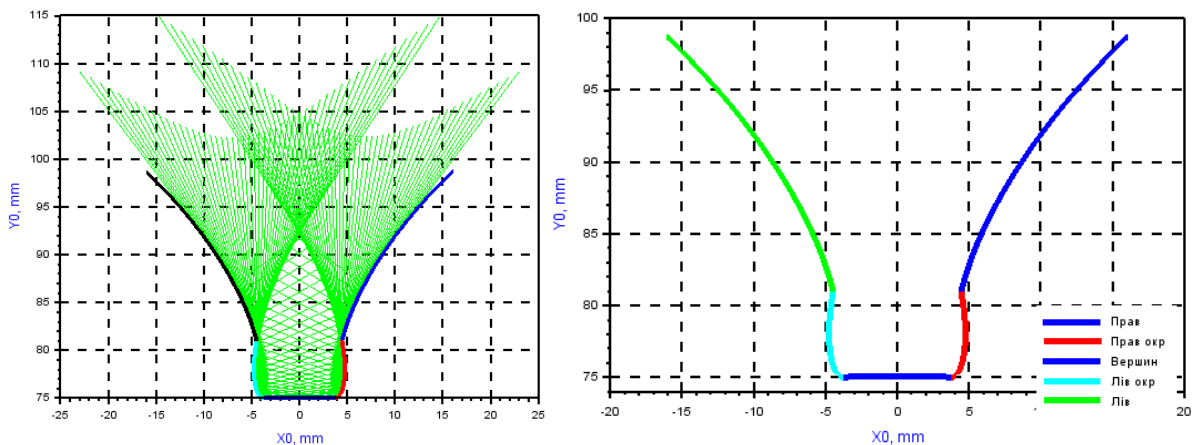


Рисунок 2.67 – а) Сімейство кривих профілю рейки при огинанні по схемі кочення

без ковзання пряма-колесо ( $m = 10\text{мм}$ ,  $z = 17$ ), для  $Ra0 = 0,1\text{ мм}$  при  $\alpha n0 = 2^\circ$

б) Профіль западин зубів колеса ( $m = 10\text{мм}$ ,  $z = 17$ ,  $x = 0,505$ ) для  $Ra0 = 0,1\text{ мм}$  при  $\alpha n0 = 2^\circ$

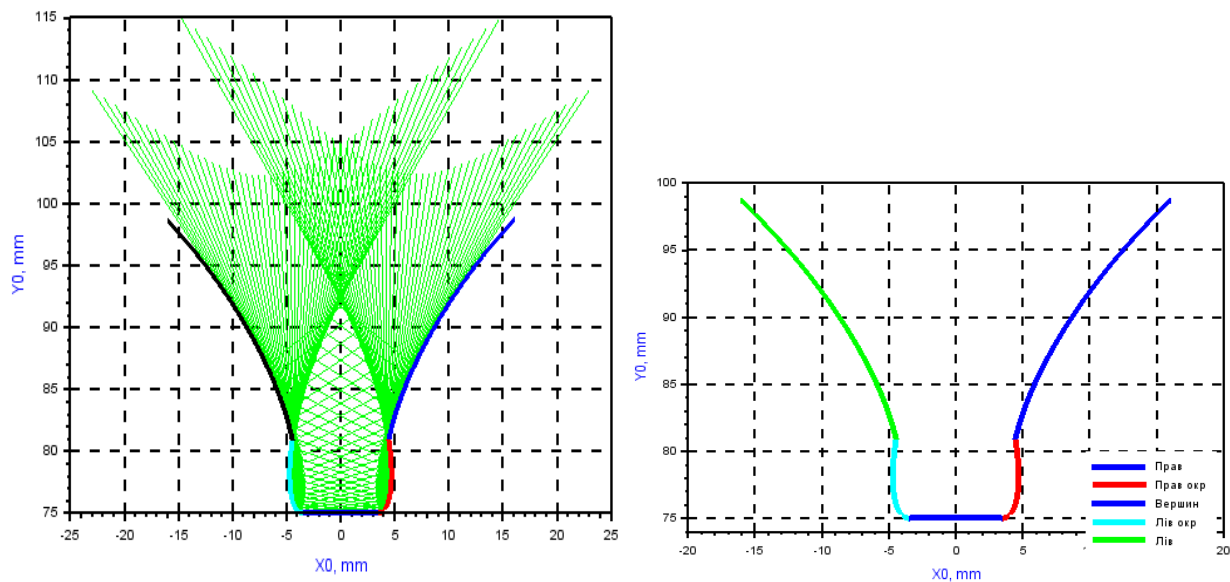


Рисунок 2.68 – а) Сімейство кривих профілю рейки при огинанні по схемі кочення

без ковзання пряма-колесо ( $m = 10\text{мм}$ ,  $z = 17$ ), для  $Ra0 = 0,4\text{ мм}$  при  $\alpha n0 = 2^\circ$

б) Профіль западин зубів колеса ( $m = 10\text{мм}$ ,  $z = 17$ ,  $x = 0,505$ ) для  $Ra0 = 0,4\text{ мм}$  при  $\alpha n0 = 2^\circ$

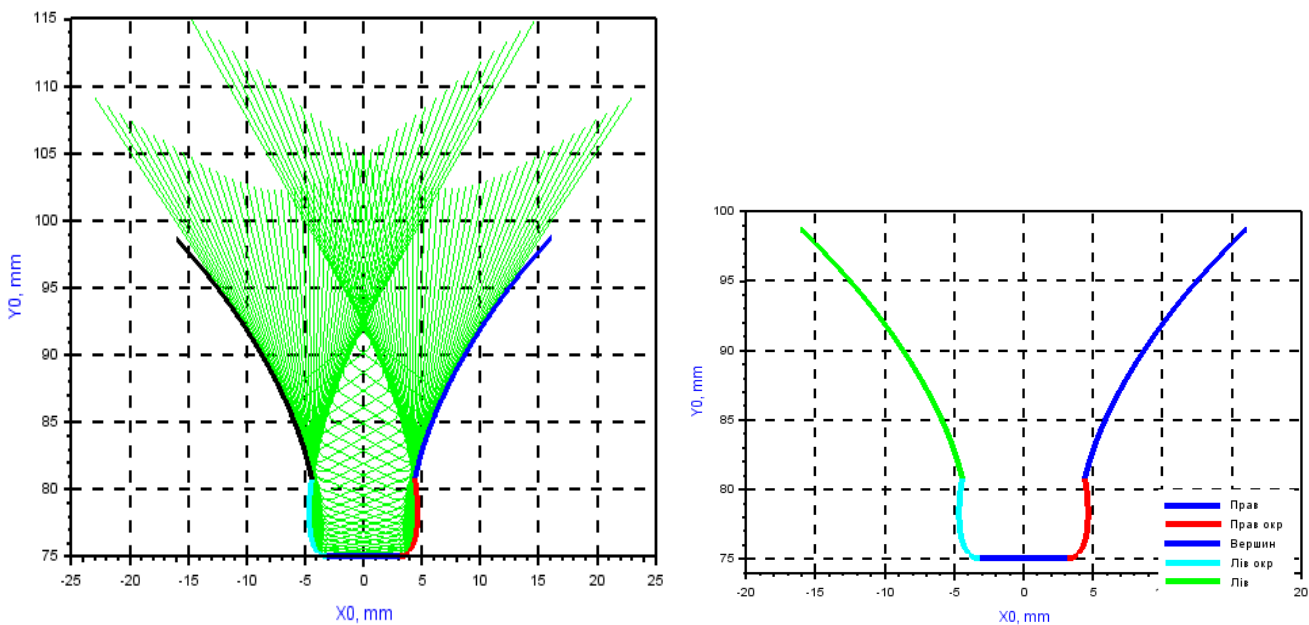


Рисунок 2.69 – а) Сімейство кривих профілю рейки при огинанні по схемі кочення

без ковзання пряма-колесо ( $m = 10\text{мм}$ ,  $z = 17$ ), для  $Ra0 = 0,8\text{ мм}$  при  $\alpha n0 = 2^\circ$

б) Профіль западин зубів колеса ( $m = 10\text{мм}$ ,  $z = 17$ ,  $x = 0,505$ ) для  $Ra0 = 0,8\text{ мм}$  при  $\alpha n0 = 2^\circ$

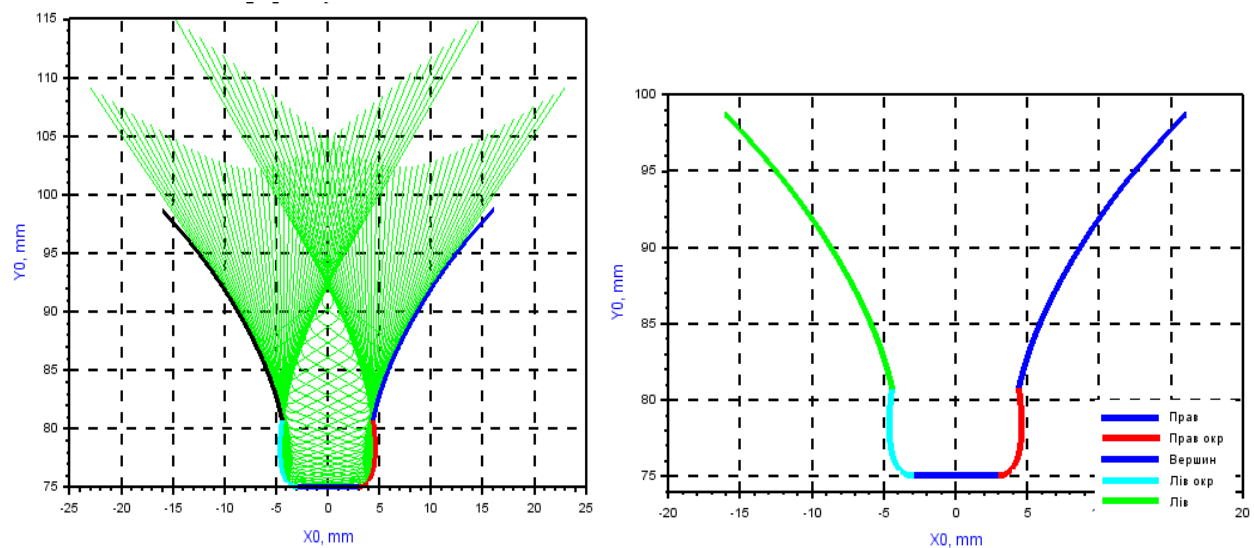


Рисунок 2.70 – а) Сімейство кривих профілю рейки при огинанні по схемі кочення

без ковзання пряма-колесо ( $m = 10\text{мм}$ ,  $z = 17$ ), для  $Ra0 = 1\text{ мм}$  при  $\alpha n0 = 2^\circ$

б) Профіль западин зубів колеса ( $m = 10\text{мм}$ ,  $z = 17$ ,  $x = 0,505$ ) для  $Ra0 = 1\text{ мм}$  при  $\alpha n0 = 2^\circ$

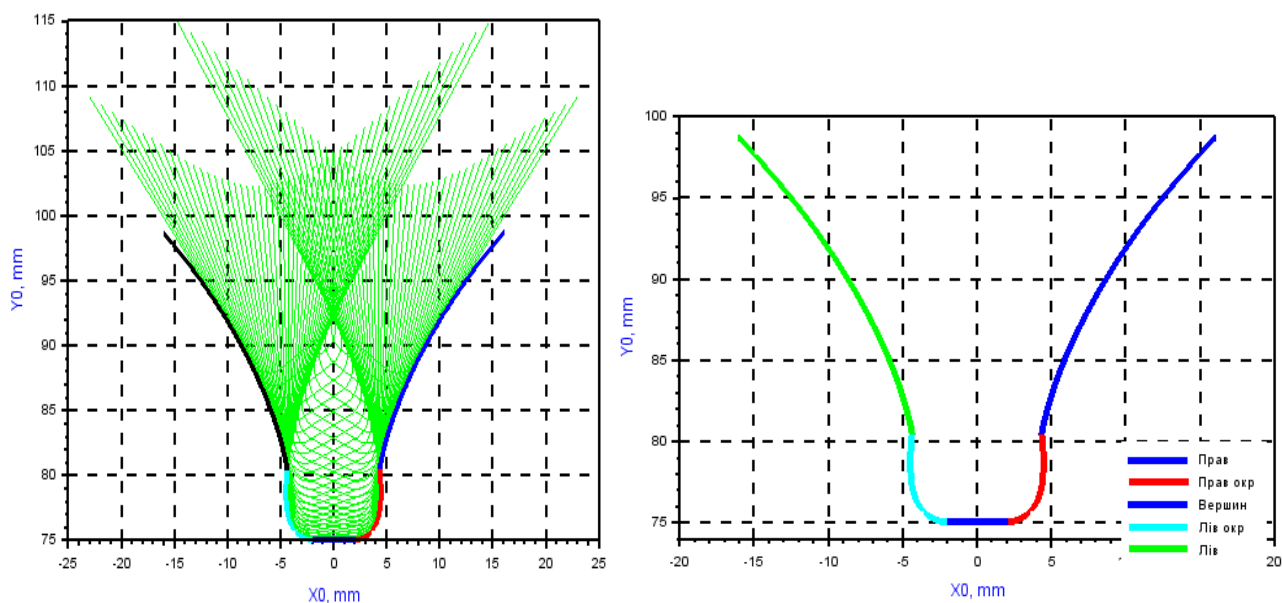


Рисунок 2.71 – а) Сімейство кривих профілю рейки при огинанні по схемі кочення

без ковзання пряма-колесо ( $m = 10\text{мм}$ ,  $z = 17$ ), для  $Ra0 = 2\text{ мм}$  при  $\alpha n0 = 2^\circ$

б) Профіль западин зубів колеса ( $m = 10\text{мм}$ ,  $z = 17$ ,  $x = 0,505$ ) для  $Ra0 = 2\text{ мм}$  при  $\alpha n0 = 2^\circ$

Порівнюючи отримані результати з профілем зубу який даний в завданні, та користуючись програмою Компас 3D, отримали наступні профілі перехідних поверхонь зуба (рис 2.72).

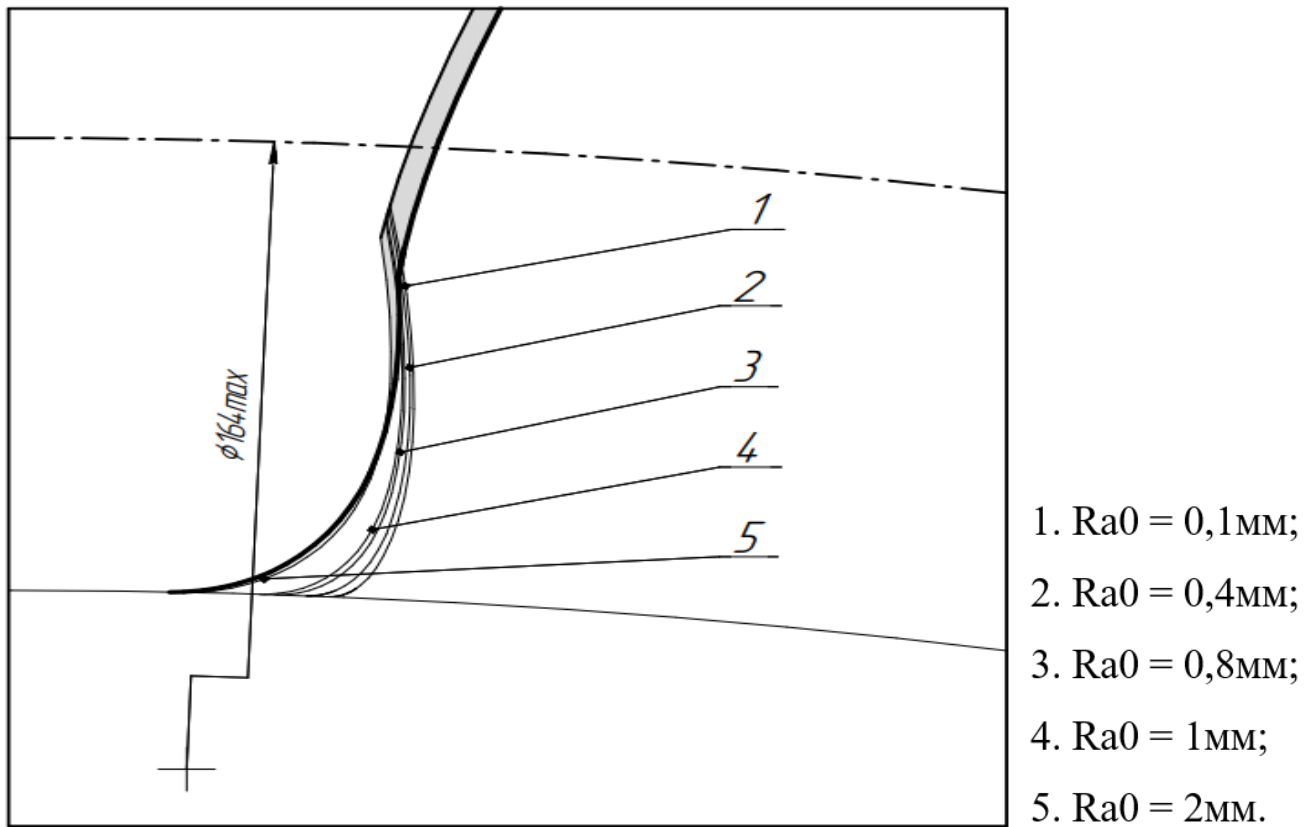
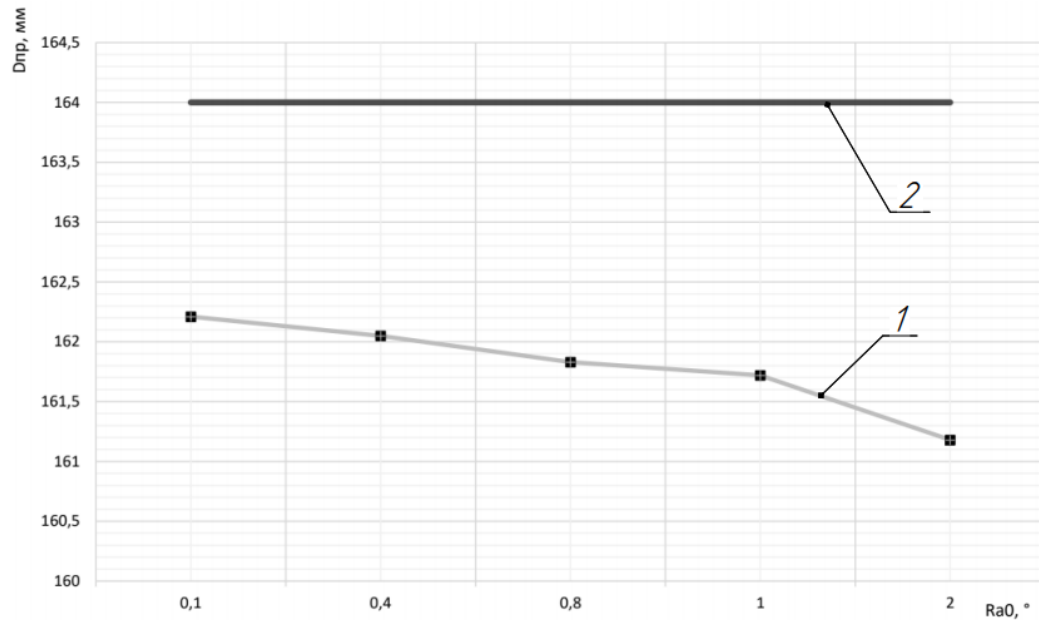


Рисунок 2.72 – Перехідні криві профілю

Далі наведено графік залежності величини максимального радіусу перехідної кривої зубчастого колеса (згідно завдання  $D_{\text{max}} = 164 \text{ мм}$ ) від радіуса округлення інструментальної рейки (рис 2.73).

За результатами дослідження отримано, що всі радіуси округлення вершини зуба ( $Ra0 = 0.1; 0.4; 0.8; 1; 2 \text{ мм}$ ) при куту профіля зуба  $\alpha_{\text{пу}0} = 2^\circ$  - підходять для реалізації профілю інструментальної рейки, адже діаметри перехідних поверхонь не перевищують максимальне значення задане по завданню. ( $D_{\text{max}} = 164 \text{ мм}$ )



1.  $\alpha_{п0} = 2^\circ$ ; 2.  $D_{max} = 164 \text{ мм}$ .

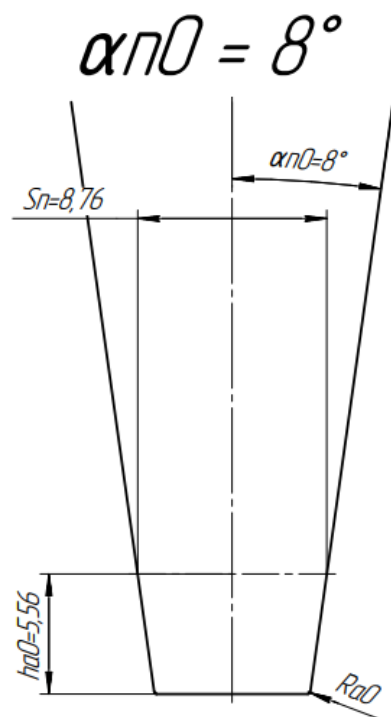
Рисунок 2.73 – Вплив радіуса при вершині інструментальної рейки на граничну точку перехідної кривої зубу колеса

Також було проаналізовано формоутворення профілю зуба, рейкою без протуберанця з кутом профілю  $\alpha_{п0} = 8^\circ$  (рис. 2.74), яка має наступні геометричні параметри:

1. Головна товщина зуба  $S_{п0} = 8,76 \text{ мм}$ ;
2. Висота головки зуба  $h_{а0} =$
3. Кут профілю рейки  $\alpha_{п0} = 8^\circ$ ;

Результати розрахунків наведені на (рис 2.75-2.79).





$S_n$  – товщина зуба рейки на ділильному колі  
 $h_{a0}$  – висота головки зуба  
 $R_{a0}$  – радіус округлення вершини зуба  
 $\alpha_{n0}$  – кут профілю рейки

Рисунок 2.74 Ескіз рейки без протуберанця з кутом профілю  $\alpha_{n0} = 2^\circ$

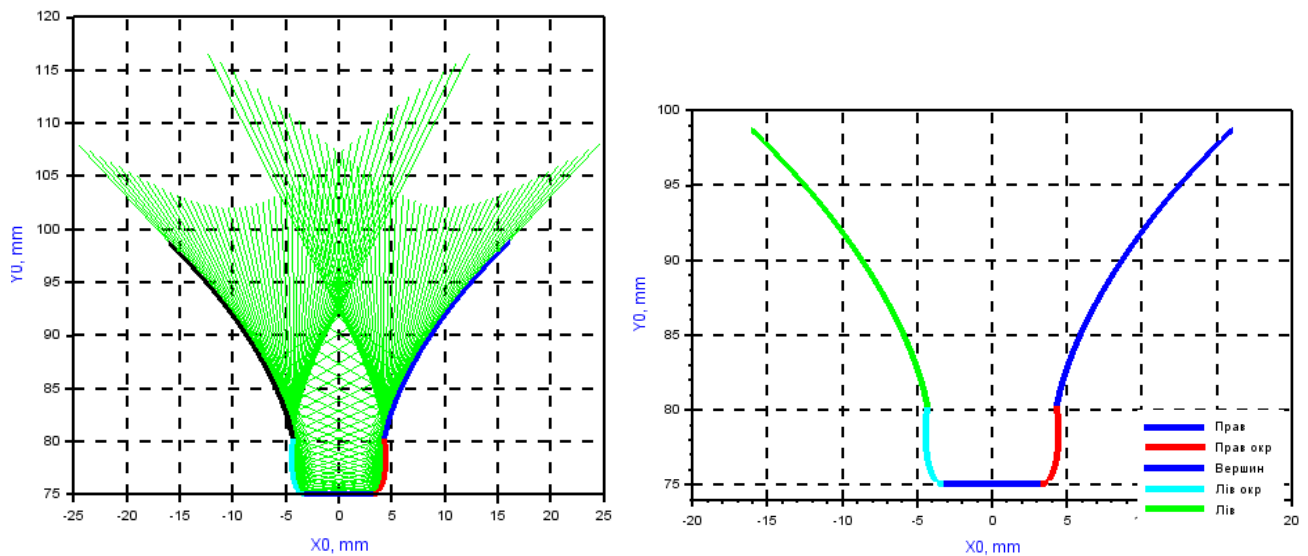


Рисунок 2.75 – а) Сімейство кривих профілю рейки при огинанні по схемі кочення

без ковзання пряма-колесо ( $m = 10\text{мм}$ ,  $z = 17$ ), для  $R_{a0} = 0,1\text{ мм}$  при  $\alpha_{n0} = 8^\circ$

б) Профіль западин зубів колеса ( $m = 10\text{мм}$ ,  $z = 17$ ,  $x = 0,505$ ) для  $R_{a0} = 0,1\text{ мм}$  при  $\alpha_{n0} = 8^\circ$

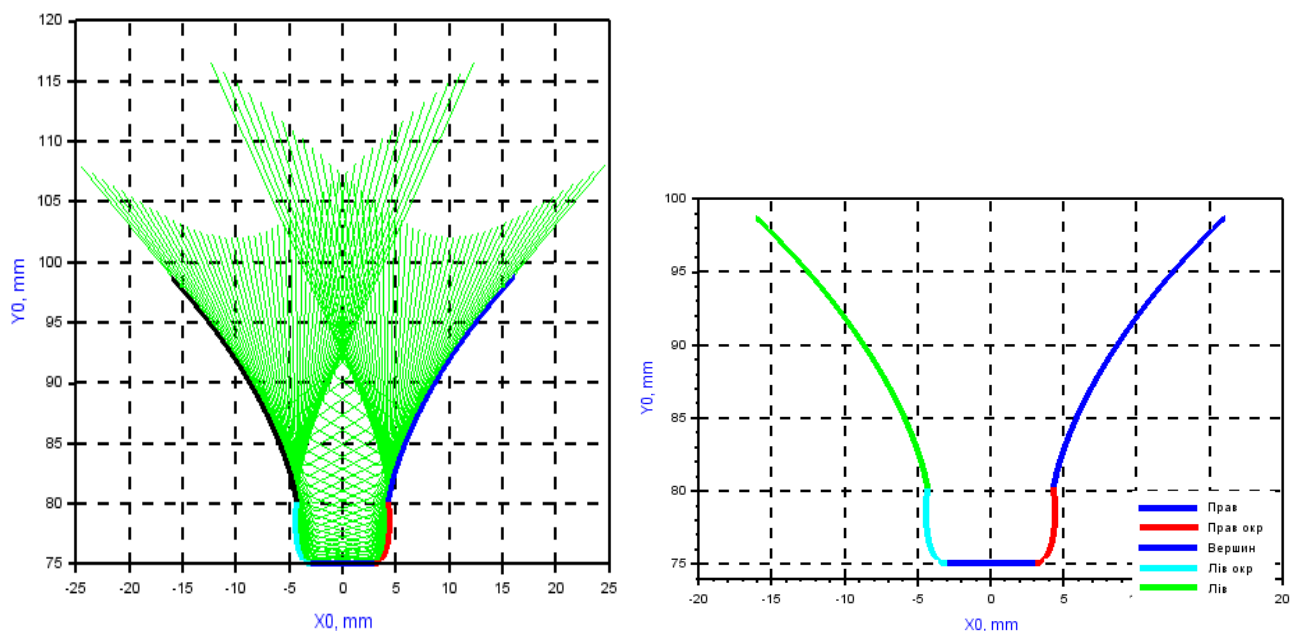


Рисунок 2.76 – а) Сімейство кривих профілю рейки при огинанні по схемі кочення

без ковзання пряма-колесо ( $m = 10\text{мм}$ ,  $z = 17$ ), для  $Ra0 = 0,4\text{ мм}$  при  $\alpha n0 = 8^\circ$

б) Профіль западин зубів колеса ( $m = 10\text{мм}$ ,  $z = 17$ ,  $x = 0,505$ ) для  $Ra0 = 0,4\text{ мм}$  при  $\alpha n0 = 8^\circ$

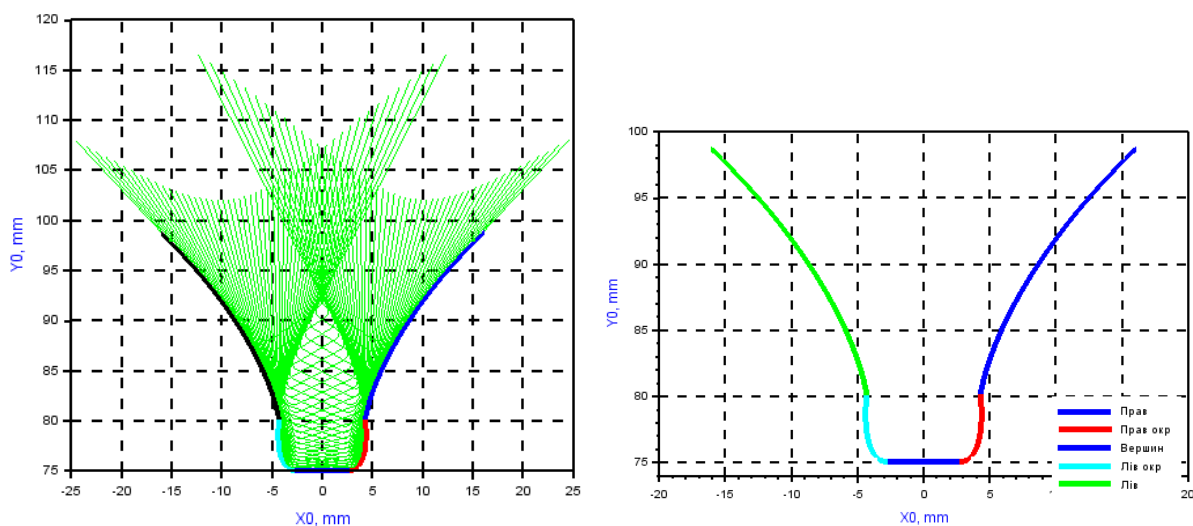


Рисунок 2.77 – а) Сімейство кривих профілю рейки при огинанні по схемі кочення

без ковзання пряма-колесо ( $m = 10\text{мм}$ ,  $z = 17$ ), для  $Ra0 = 0,8\text{ мм}$  при  $\alpha n0 = 8^\circ$

б) Профіль западин зубів колеса ( $m = 10\text{мм}$ ,  $z = 17$ ,  $x = 0,505$ ) для  $Ra0 = 0,8\text{ мм}$  при  $\alpha n0 = 8^\circ$

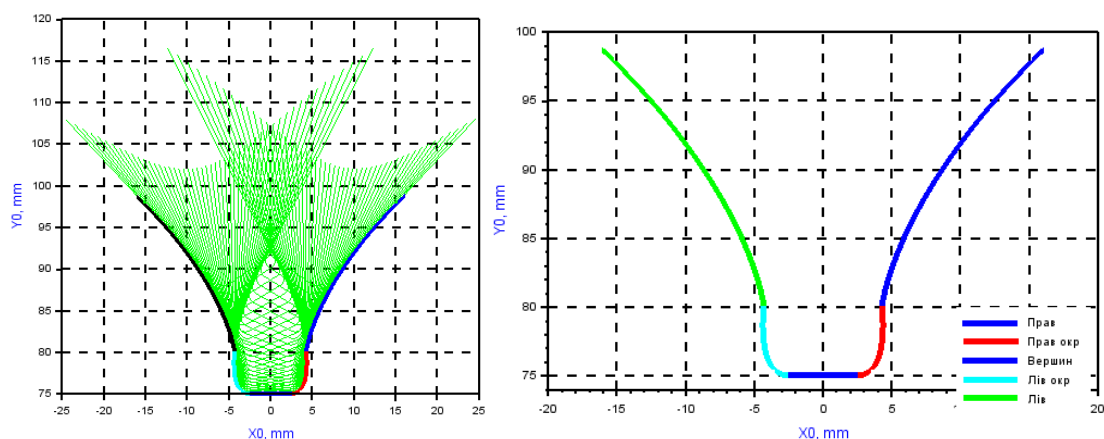


Рисунок 2.78 – а) Сімейство кривих профілю рейки при огинанні по схемі кочення

без ковзання пряма-колесо ( $m = 10\text{мм}$ ,  $z = 17$ ), для  $Ra0 = 1\text{ мм}$  при  $\alpha n0 = 8^\circ$

б) Профіль западин зубів колеса ( $m = 10\text{мм}$ ,  $z = 17$ ,  $x = 0,505$ ) для  $Ra0 = 1\text{ мм}$  при  $\alpha n0 = 8^\circ$

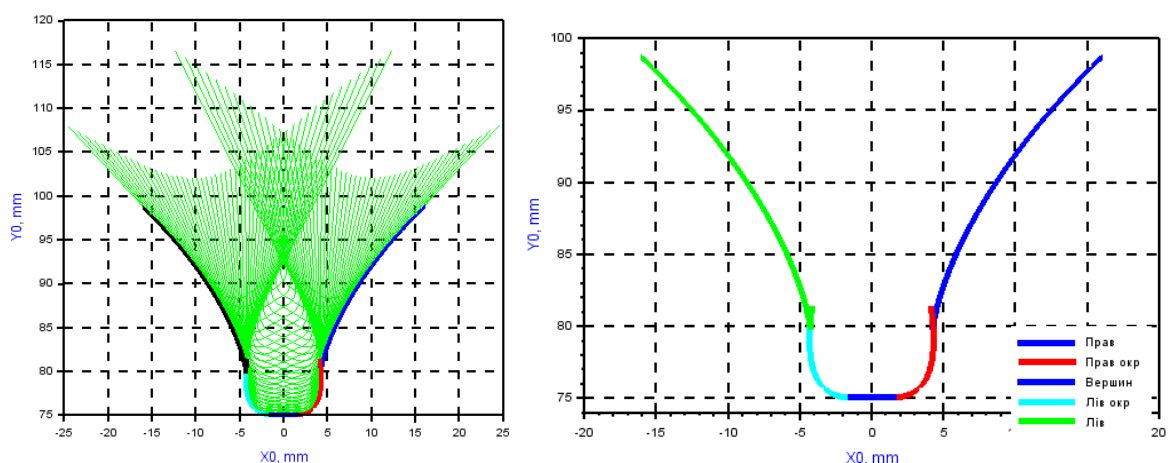


Рисунок 2.79 – а) Сімейство кривих профілю рейки при огинанні по схемі кочення

без ковзання пряма-колесо ( $m = 10\text{мм}$ ,  $z = 17$ ), для  $Ra0 = 2\text{ мм}$  при  $\alpha n0 = 8^\circ$

б) Профіль западин зубів колеса ( $m = 10\text{мм}$ ,  $z = 17$ ,  $x = 0,505$ ) для  $Ra0 = 2\text{ мм}$  при  $\alpha n0 = 8^\circ$

Порівнюючи отримані результати з профілем зубу який даний в завданні, та користуючись програмою Компас 3D, отримали наступні профілі перехідних поверхонь зуба (рис 2.80).

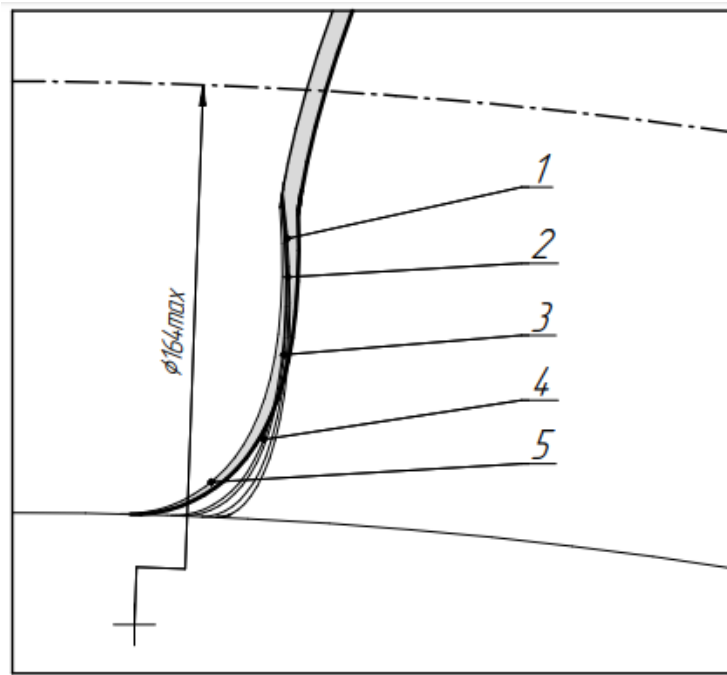


Рисунок 2.80 – Перехідні криві профілю

На графіку наведено залежності величини максимального радіуса перехідної кривої зубчастого колеса (згідно завдання  $D_{max} = 164$  мм) від радіуса округлення інструментальної кривої (рис 2.81).

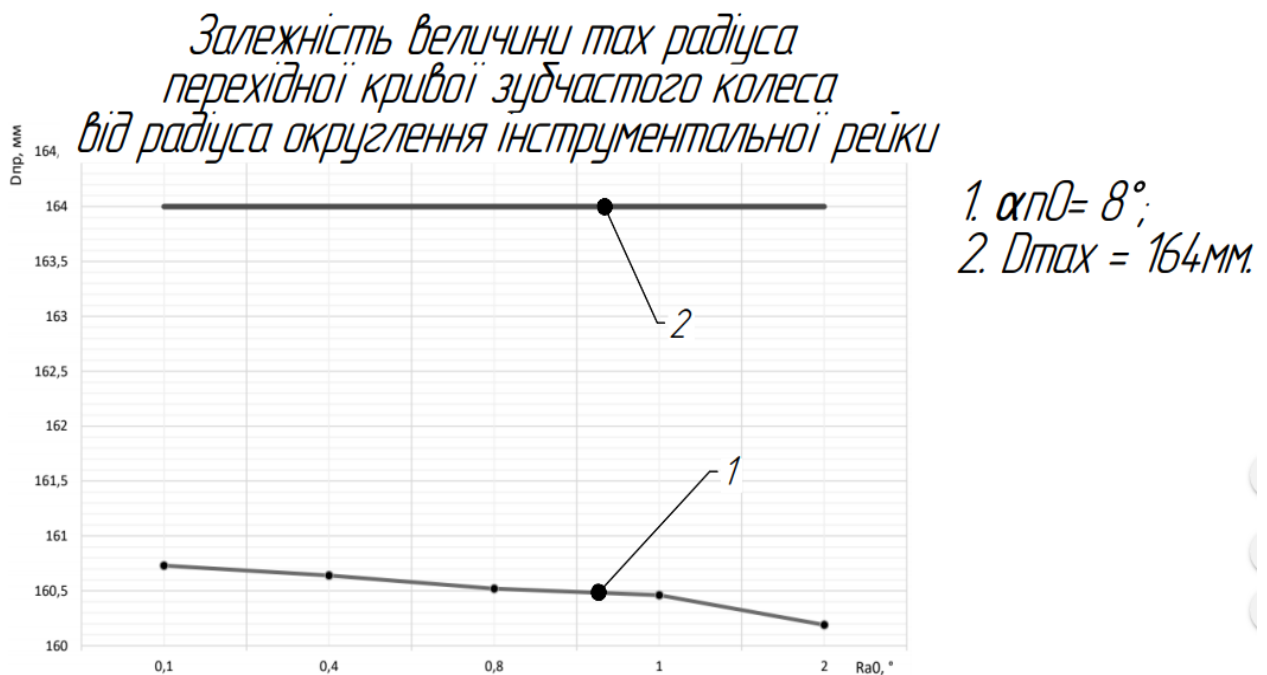


Рисунок 2.81 – Вплив радіуса при вершині інструментальної рейки на граничну точку перехідної кривої зубу колеса.

За результатами дослідження визначено, що всі радіуси округлення вершини зуба ( $Ra_0 = 0.1; 0.4; 0.8; 1; 2$  мм) при куту профіля зуба  $\alpha_{\text{п}0} = 8^\circ$  - підходять для реалізації профілю інструментальної рейки, адже діаметри перехідних поверхонь не перевищують максимальне значення задане по завданню. ( $D_{\text{max}} = 164$  мм)

Провівши всі дослідження можна зробити висновок що:

1. При збільшенні радіуса округлення інструментальної рейки, зменшується діаметр перехідної кривої зубчастого колеса
2. При збільшенні кута профілю протуберанця зуба інструментальної рейки, зменшується діаметр перехідної кривої зубчастого колеса.
3. При збільшенні кута профілю зуба інструментальної рейки, зменшується діаметр перехідної кривої зубчастого колеса.

Проаналізувавши всі результати, для подальшого проектування збірної черв'ячної фрези за основу було обрано інструментальну рейку без протуберанця, яка має кут профілю зуба  $\alpha_{\text{п}0} = 8^\circ$ , та радіус округлення вершини зуба  $Ra_0 = 0.1$ . Це дасть можливість отримати більш жорстку конструкцію корпусу фрези.

## РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКЦІЯ ЧЕРВ'ЯЧНОЇ ФРЕЗИ

### 3.1 Розрахунок профіля черв'ячної фрези

Відповідно до [9] зменшений профіль кута черв'ячної фрези дозволяє збільшити тривалість зачеплення фрези з зубчастим колесом, дає можливість покращити чистоту оброблюваної поверхні. Це в свою чергу, створює умови для збільшення кількості заходів фрези і відповідно покращення продуктивності зубофрезерування. Разом з цим зменшення профільного кута має негативну сторону, в тому що одночасно виникає відповідне зменшення задніх кутів на бокових кромках зуба фрези. Тому приймати профільний кут фрези  $\alpha_{p0}$  менше  $6^\circ$  не рекомендовано. При цьому допускається збільшення числа заходів фрези до двох при непарній кількості зубів і до трьох при парній кількості зубів зубастого колеса.

При виборі профільного кута слід мати на увазі, при  $d_o > d_i$  може статися підрізання профіля колеса, що в більшості випадків є не допустимим.

Розрахунок профіля черв'ячної фрези зводиться до визначення розмірів прямобічної рейки, яка має правильне зачеплення з зубчастим колесом. Форма профіля черв'ячної фрези зі зменшеним профільним кутом показана на (рис 3.1)

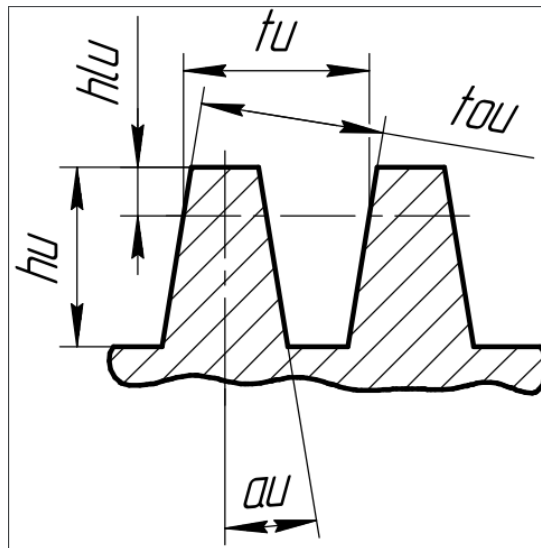


Рисунок 3.1 Профіль черв'ячної фрези

Як відомо, профільний кут рейки може обиратися довільно, правильність зачеплення при цьому не порушується. Обов'язковою умовою при цьому є тільки дотримання рівності основних кроків рейки та колеса.

Розрахунок збірної черв'ячної фрези:

1. Модуль по нормалі

$$m = 10 \text{ мм} \quad (3.1)$$

2. Основний крок колеса та фрези

$$t_0 = \pi \cdot m \cdot \cos(\alpha_d) = 159.748 \text{ мм} \quad (3.2)$$

3. Число заходів фрези

$$a = 1 \quad (3.3)$$

4. Крок фрези по нормалі

$$t_u = \frac{t_0}{\cos \alpha_u} = 29.811 \text{ мм} \quad (3.4)$$

5. Кут нахилу зуба на початковій окружності виробу

$$\sin \beta = \frac{\sin \beta_d \cdot \cos \alpha_d}{\cos \alpha_u} = 0^\circ \quad (3.5)$$

6. Кут зачеплення по торцю на початковій окружності

$$\tan \alpha_s = \frac{\tan \alpha_u}{\cos \beta} = 0.141^\circ \quad (3.6)$$

7. Діаметр початкової окружності колеса

$$d = \frac{d_0}{\cos \alpha_s} = 159.772 \text{ мм} \quad (3.7)$$

8. Розрахункові параметри зуба фрези по нормалі до витка

8.1 Висота головки зуба

$$h_{lu} = \frac{d - d_i}{2} = 5.086 \text{ мм} \quad (3.8)$$

8.2 Висота зуба

$$h_u = h + 0.3 \cdot m = 30 \text{ мм} \quad (3.10)$$

9. Діаметр зовнішньої окружності

$$D_{eu} = 270 \text{ мм} \quad (3.11)$$

10. Падіння затилка

$$K = 0 \quad (3.12)$$

11. Діаметр початкової окружності

$$d_u = D_{eu} - 2 \cdot h_{lu} - 0.5 \cdot K = 259.828 \text{ мм} \quad (3.13)$$

12. Кут підйому витка на початковій окружності

$$\sin \omega = \frac{t_u \cdot a}{\pi \cdot d_u} = 0.037^\circ \quad (3.14)$$

13. Хід витка по осі

$$t_x = \frac{t_u \cdot a}{\cos \omega} = 29.831 \text{ мм} \quad (3.15)$$

14. Крок між сусідніми профілями по осі

$$t_{oc} = \frac{t_u \cdot a}{\cos \omega} = 11.490 \text{ мм} \quad (3.16)$$

Для реалізації робочого профілю зуба фрези було розраховано і побудовано профілюючі ділянки вихідного інструментального контуру рейки (рис 3.2), що забезпечують кінцевий профіль зубчастого колеса  $m = 10 \text{ мм}$ ,  $Z_k = 17$ ,  $x = 0,505$ .

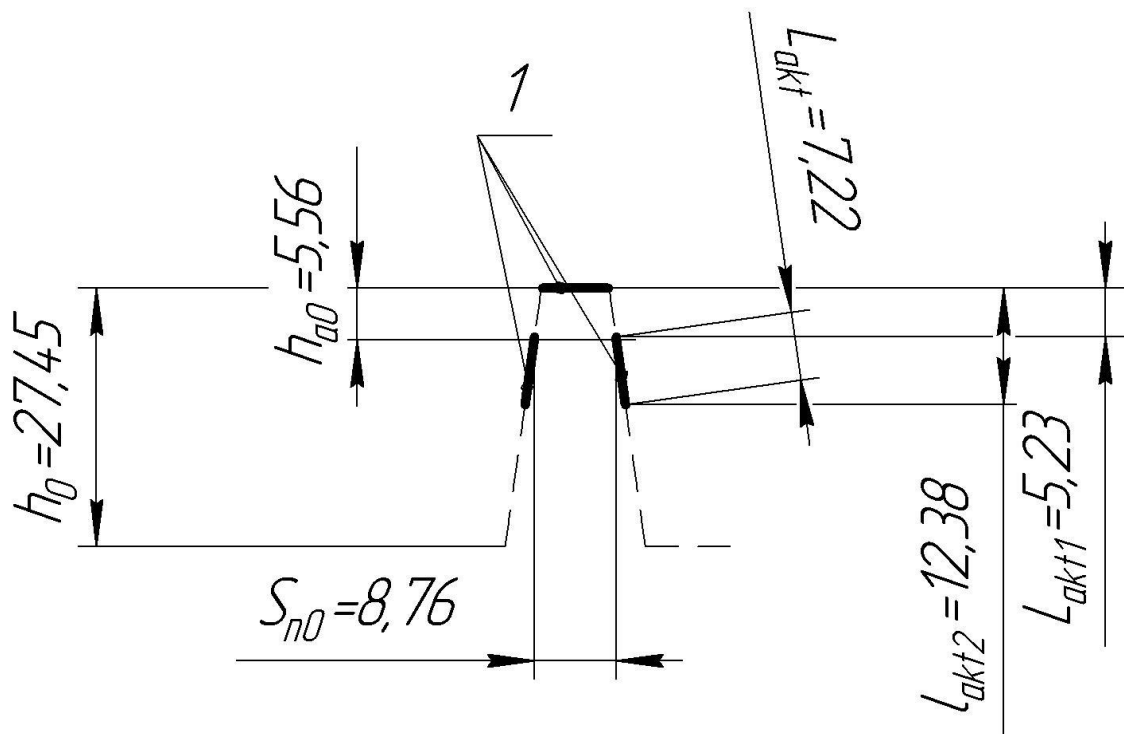


Рисунок 3.2 - Профільюючі ділянки інструментальної рейки для обробки зубчастого колеса  $m = 10 \text{ мм}$ ,  $Z_k = 17$ ,  $x = 0,505$ , кут профілю рейки  $\alpha_{t0} = 8^\circ$ : 1- формоутворюючі ділянки.



Відповідно до розрахунків, робочою профільюючою частиною вихідного інструментального контуру рейки є три ділянки (1 – рис. 3.2) одна при вершині і дві бічні сторони, які між собою не перетинаються. Довжина бічних ділянок становить  $L_{akt}=7,22$  і вони починаються на величині  $l_{akt1}=5,23$  від вершини зуба. Ці параметри необхідні для проектування різальної частини фрези, а саме довжина сторони стандартної непереточуваної пластини повинна бути більше за  $L_{akt}$  для того щоб її реалізувати суцільною різальною кромкою. Та величина  $l_{akt1}$  відповідає за розташування пластини по вертикальному положенні зуба фрези і враховуючи отримані чисельні дані в якості різальної пластини що буде формувати зуб фрези обираємо пластину (рис 3.3)

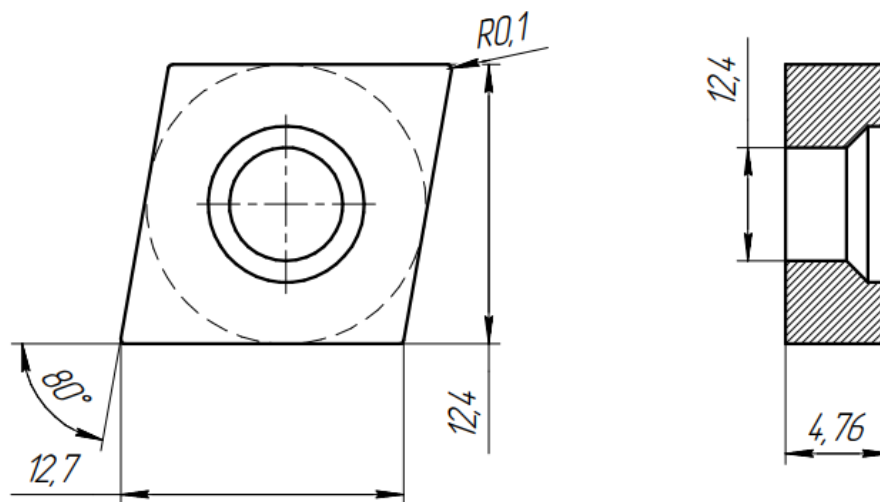


Рисунок 3.2 Пластина

Для забезпечення необхідної геометрії робочої частини фрези, було прийнято схему реалізації вихідного інструментального контуру зі шістьох пластин . Базування цих пластин буде здійснюватися за рахунок посадок в пазах. По три паза на сторону з кроком  $18^\circ$ , розміщення пазу наведене на(рис 3.4).

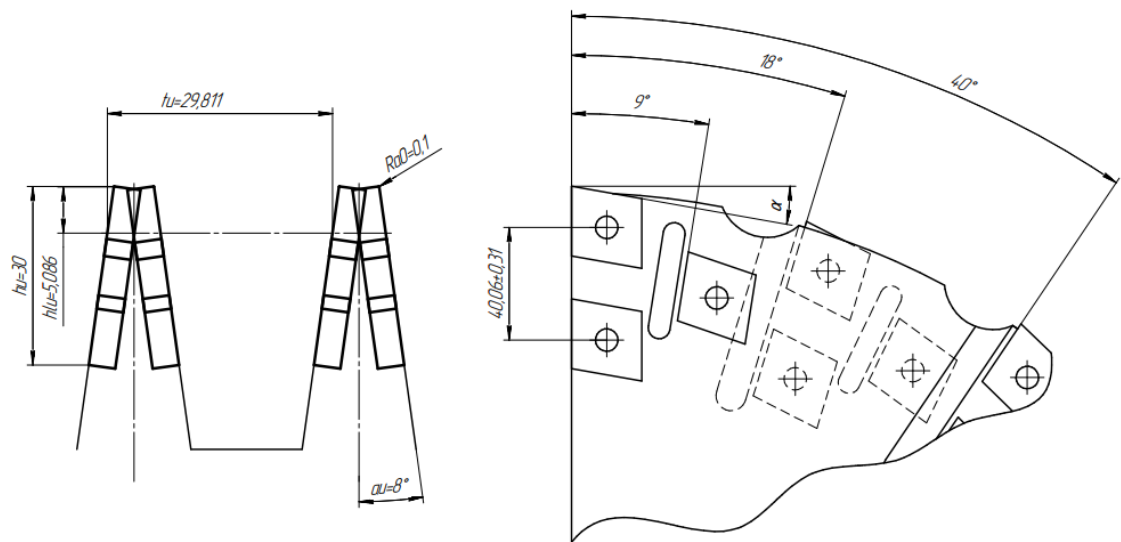


Рисунок 3.4 – Розміщення пазів під пластини

### 3.2 Побудова моделі фрези

За допомогою програми Компас 3D, виконаємо побудову корпусу фрези. Побудову корпусу розпочинаємо зі створення основного тіла деталі. Для цього на площині ХУ створимо ескіз основного тіла корпусу, за допомогою інструмента «Эскиз» (рис. 3.5).

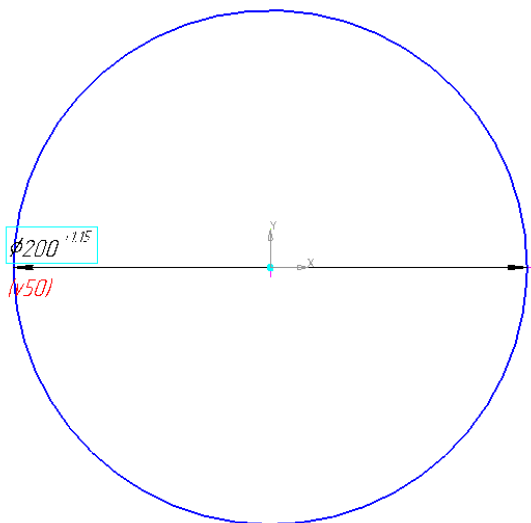


Рисунок 3.5 – Ескіз основного тіла корпусу

Далі інструментом «Вытягивание» створюємо тверде тіло (рис 3.6).

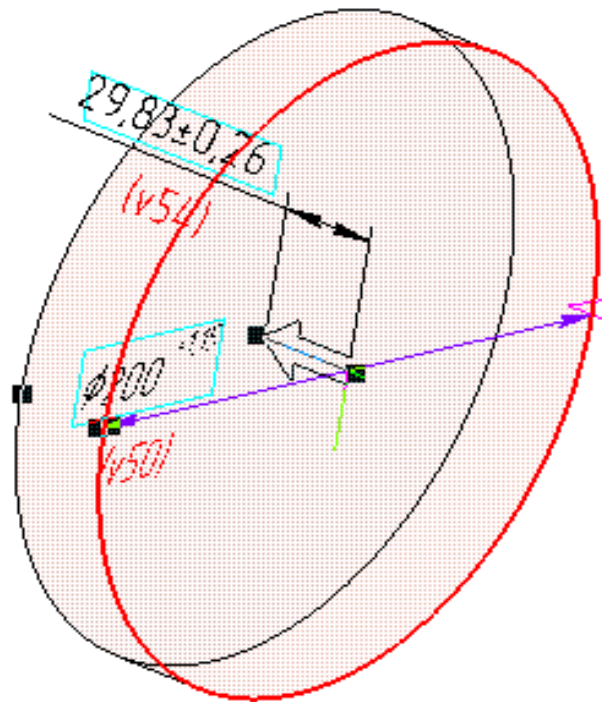


Рисунок 3.6 – Створення твердого тіла

Після цього будемо ескіз вихідного інструментального контуру (рис 3.7).

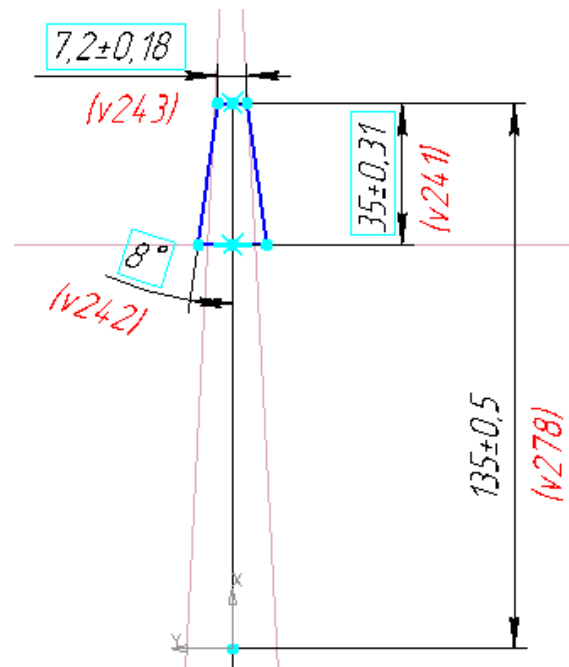


Рисунок 3.7 – Ескіз вихідного інструментального контуру

Для створення гвинтової поверхні фрези необхідно визначити її траєкторію на моделі, для цього використовуємо інструмент «Спираль» (рис 3.8).



Наступним кроком буде створення різноманітних конструктивних елементів, за допомогою інструментів «Эскиз на поверхности», «Вырезать элемент выдавливания», «Операция выдавливания» (рис 3.10; рис 3.11; рис 3.12).

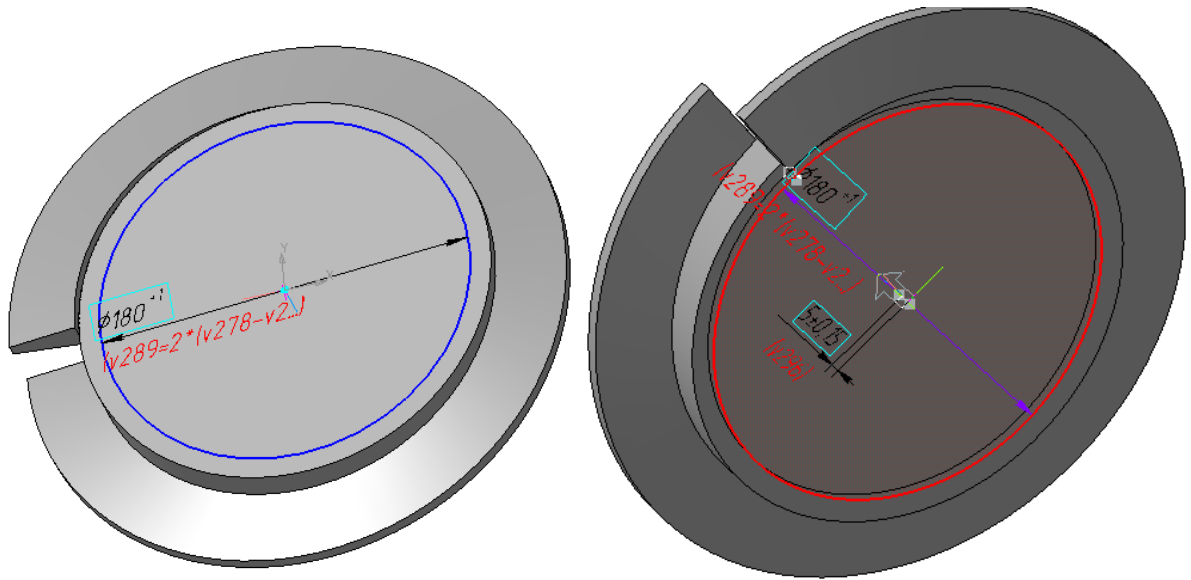


Рисунок 3.10 – Створення отвору для посадки модулів фрези

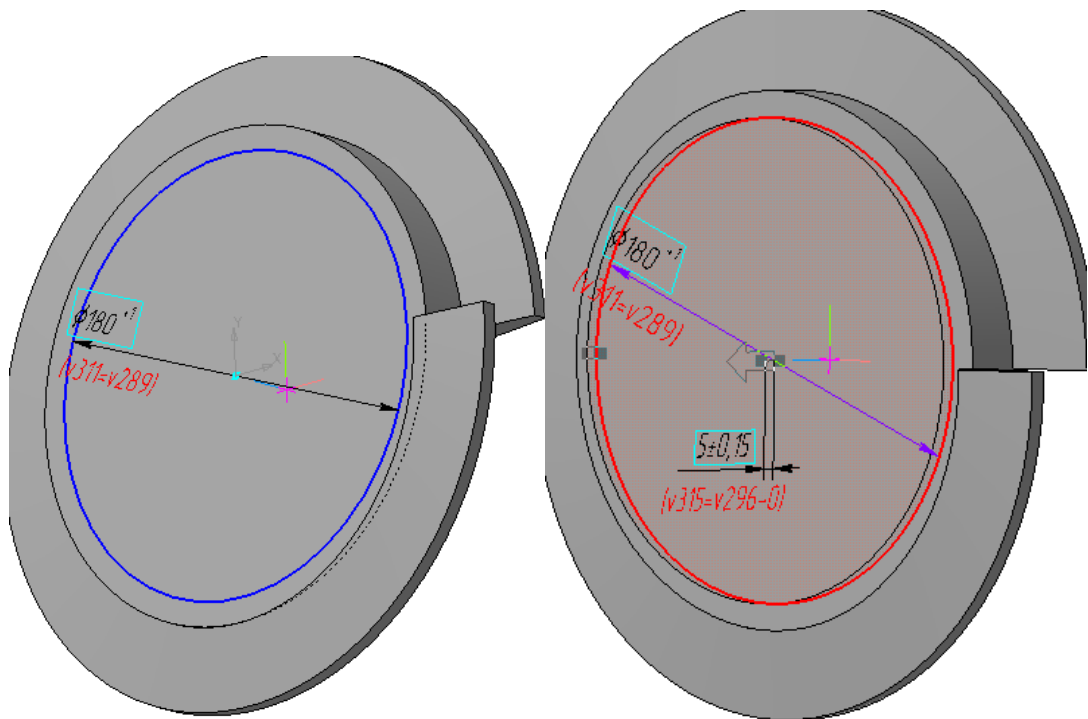


Рисунок 3.11 – Створення відповідної частини для посадки модулів фрези

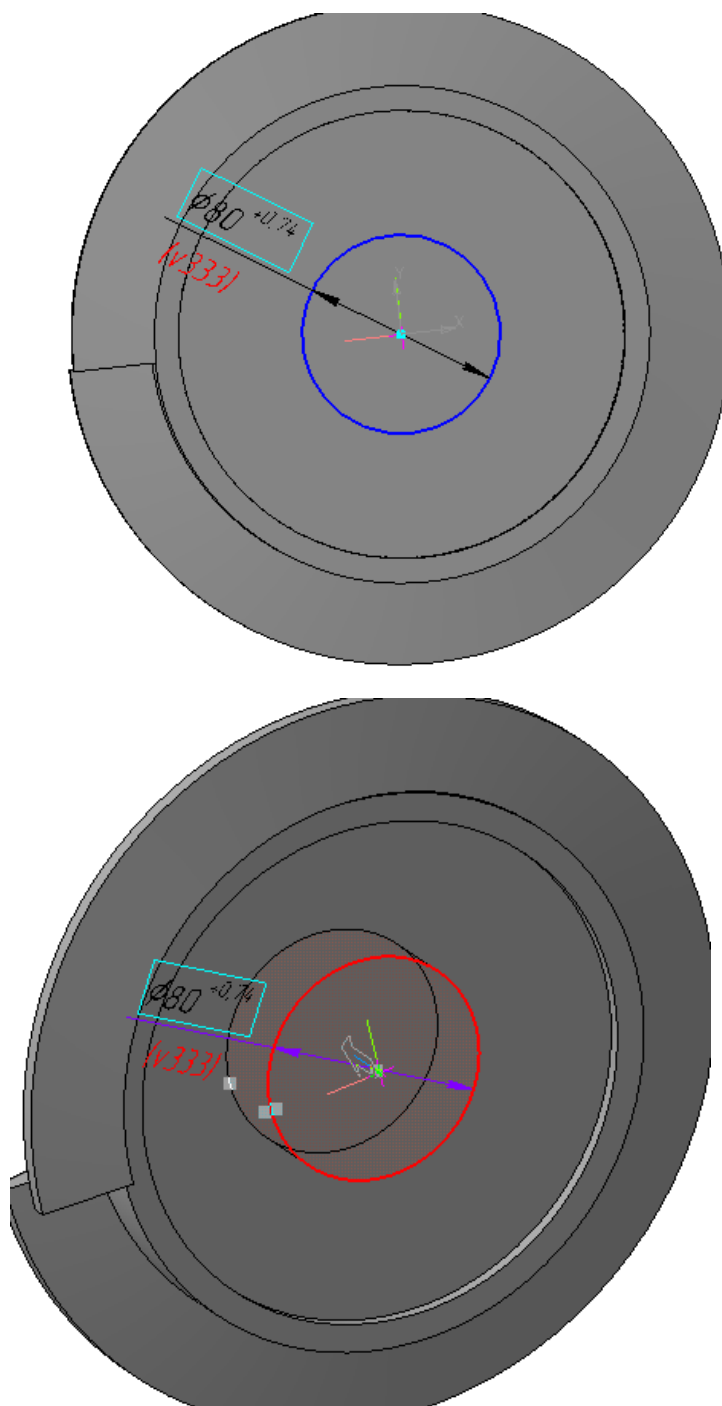


Рисунок 3.12 – Створення посадочного отвору фрези

Виконуємо побудову опорних площин для розміщення пазів під праву та ліву пластину (рис 3.13)

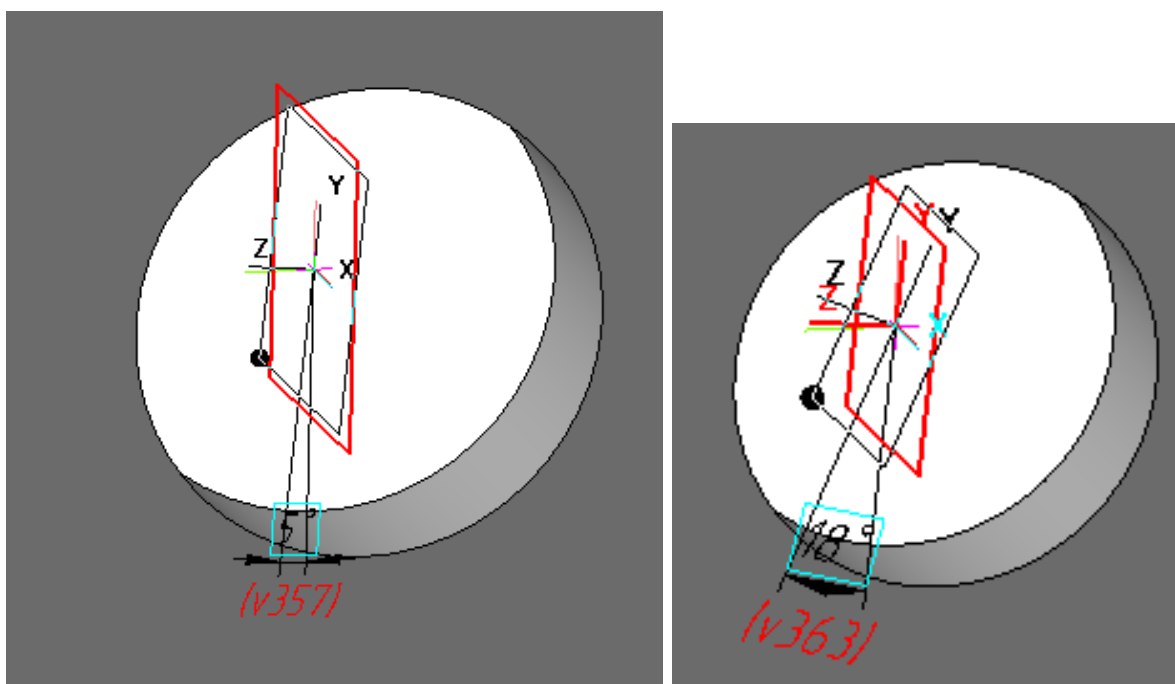


Рисунок 3.13 – Розміщення опорних площин для пластин

За допомогою інструмента «Вичисть компоненти» створюємо пази під пластини з двох сторін (рис 3.14).

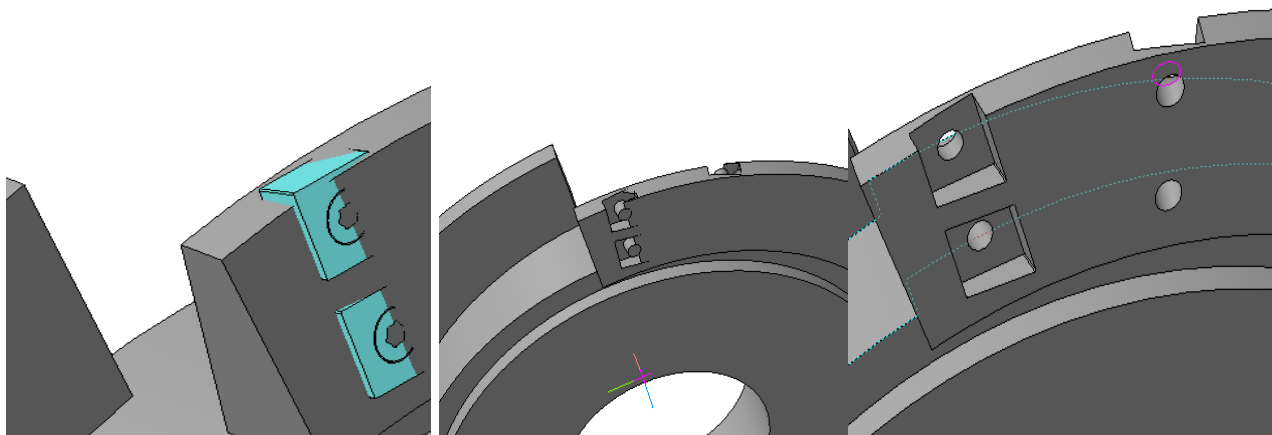


Рисунок 3.14 – Створення пазів під пластини

Далі будуємо стружкові канавки (рис 3.15).

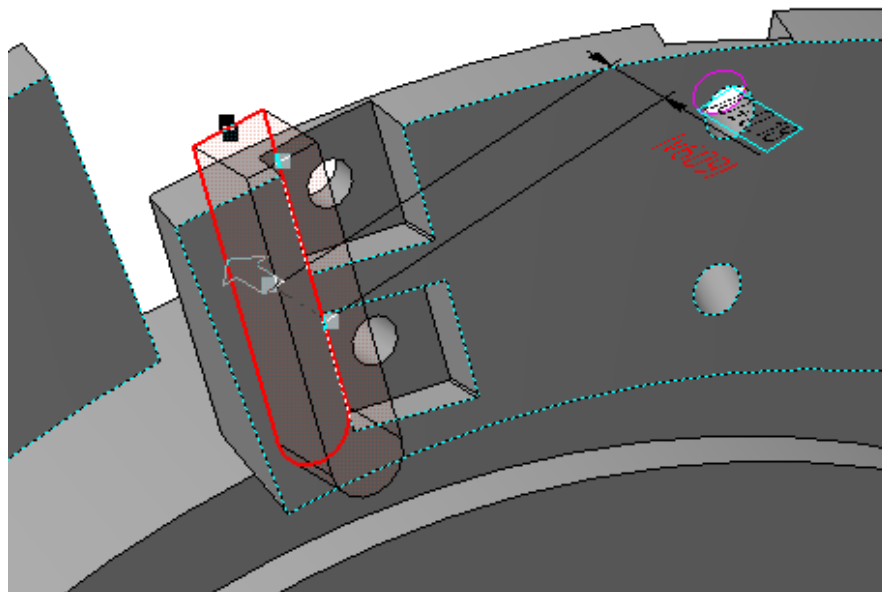


Рисунок 3.15 – Побудова стружкового паза

Командами «Скругление», «Отверстие», створюємо необхідні технологічні отвори та скруглення (рис. 3.16)

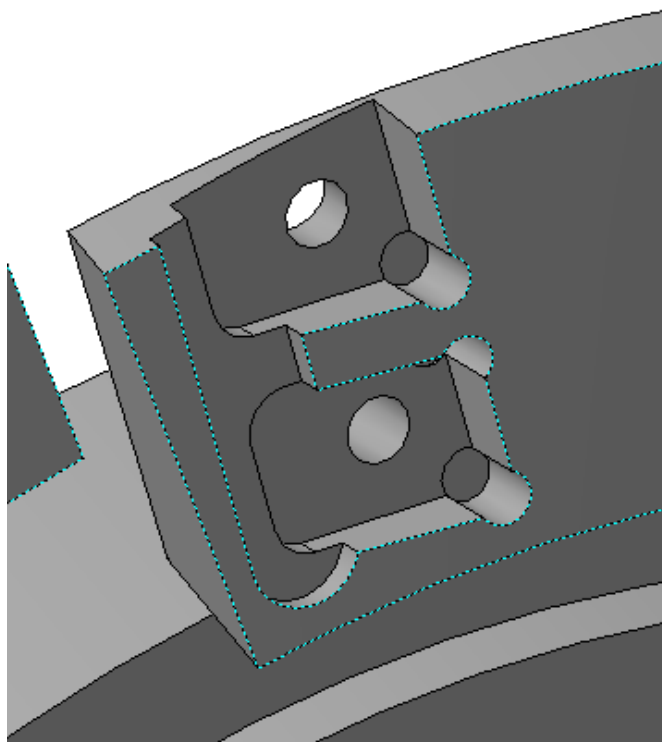


Рисунок 3.16 – Технологічні елементи пазу



Для завершення побудови пазу під пластину, необхідно створити посадочні площини під пластину. Для цього використаємо інструменти «Эскиз», «Вырезать элемент выдавливания» (рис 3.17).

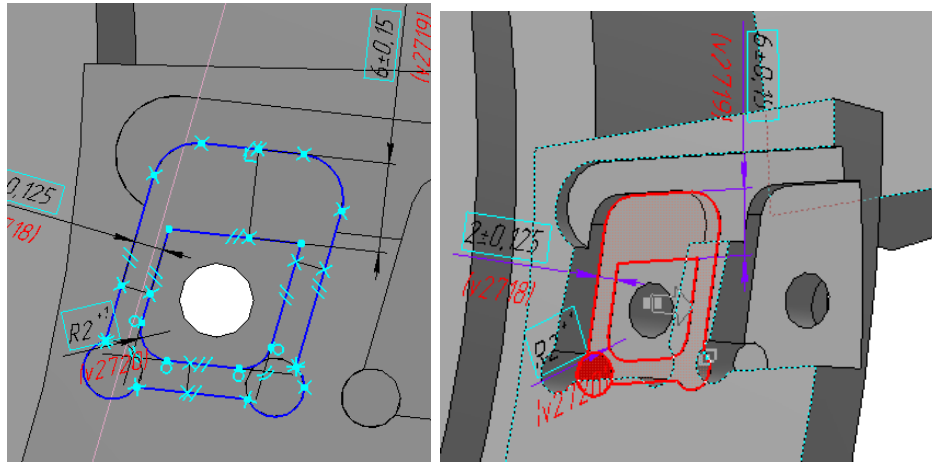


Рисунок 3.17 – Базова площина під посадку пластин

За допомогою інструмента «Массив» розподіляємо пази під пластини по всій гвинтовій поверхні деталі (рис 3.18)

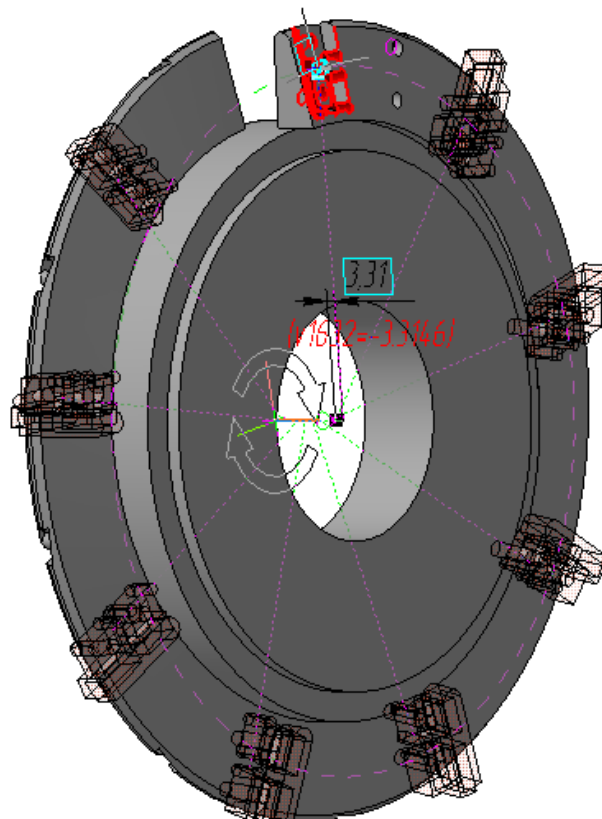


Рисунок 3.18 – Розподілення пазів по гвинтовій поверхні деталі

Будуємо ескіз шпоночного пазу (рис 3.19)

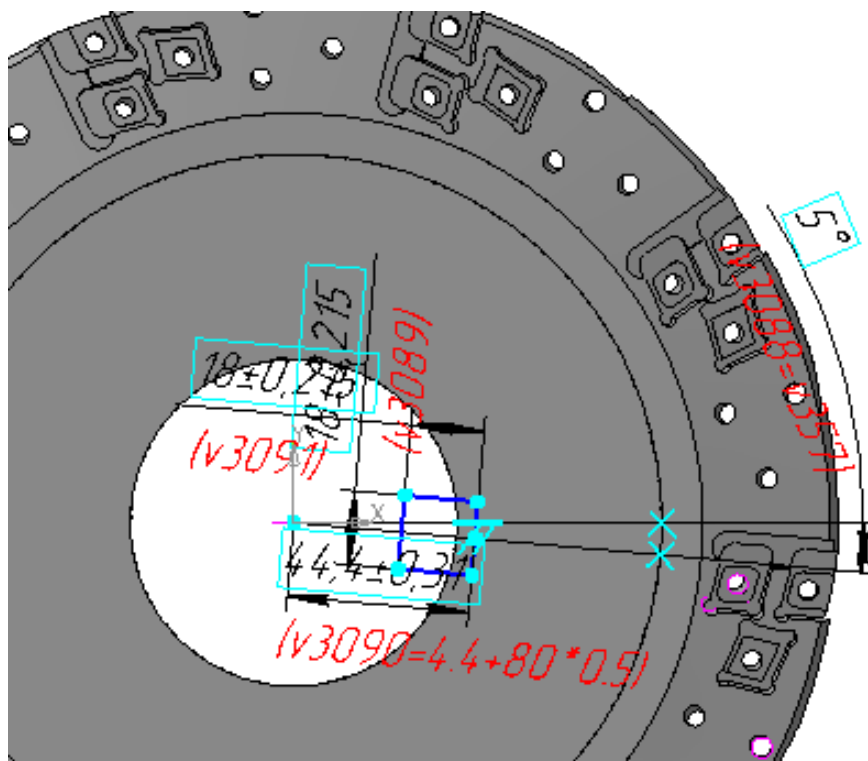


Рисунок 3.19 – Ескіз шпоночного пазу

Формуємо шпоночний паз інструментом «Вырезать элемент выдавливания» (рис 3.20)

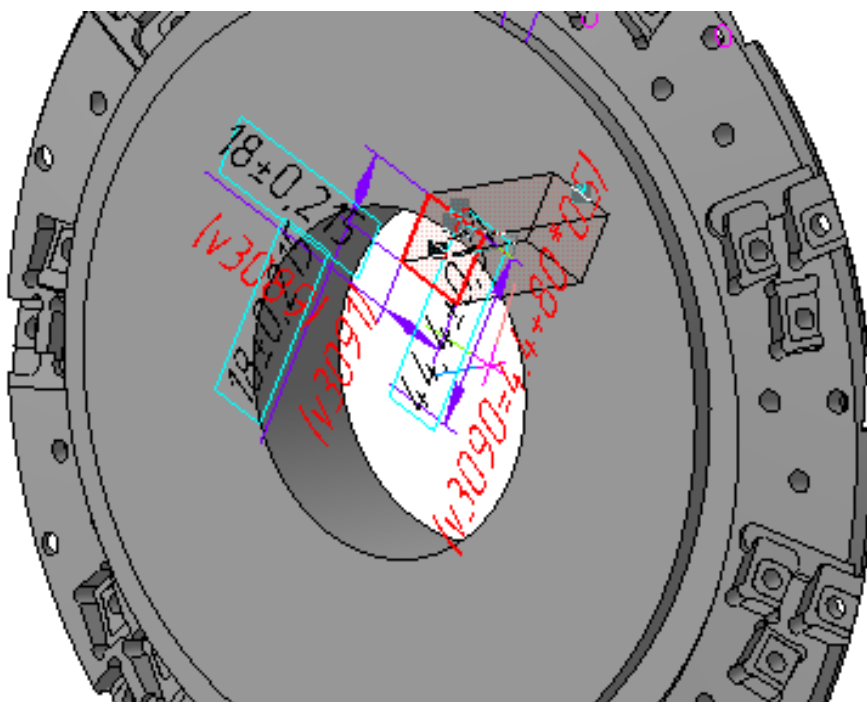


Рисунок 3.20 Шпоночный паз

Для того щоб зафіксувати модулі між собою, потрібно утворити отвори, через які будуть проходити стягуючі гвинти. Роби ескіз отвору на торцю деталі, та вирізаємо його інструментом «Вирізати елемент выдавливания». Далі масивом утворюємо 4 отвори по окружності діаметром 132мм. (рис 3.21)

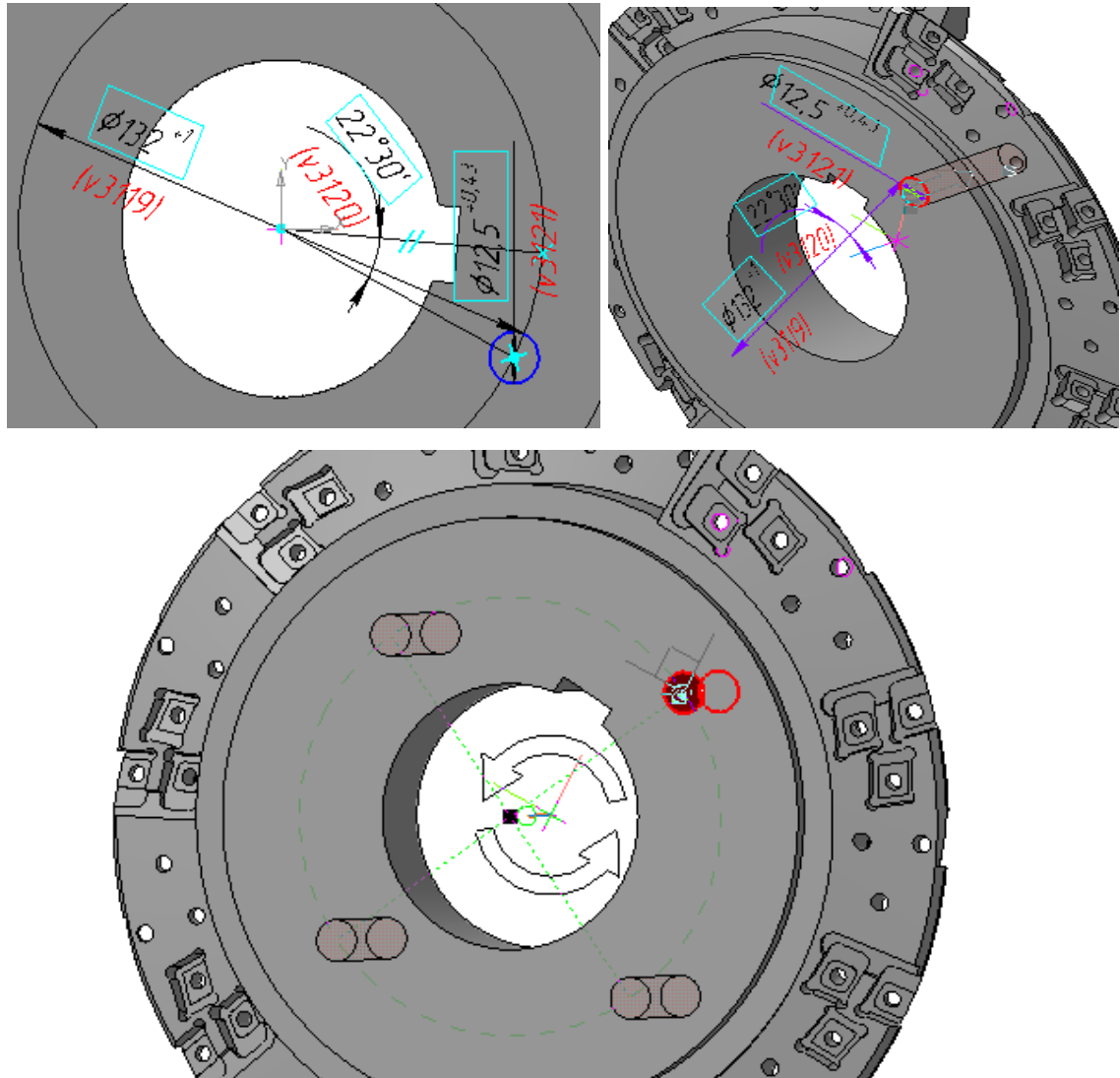


Рисунок 3.21 Отвори для фіксації модулів

Останніми операціями буде створення посадочних пазів під сухарі. Для цього необхідно на торцю деталі створити ескіз пазу, після чого командою «Вирізати елемент выдавливания» вирізати на задану глибину (рис 3.22). Повторно створюємо паз на протилежній. Маючи два паз буде зручно створити масив по окружності з чотирьма елементами з кожної сторони (рис 3.23).

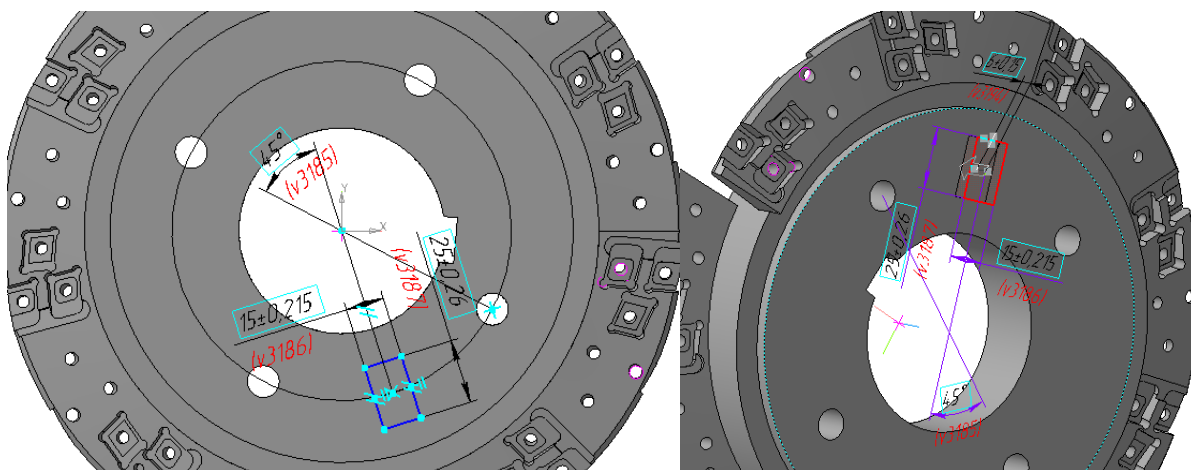


Рисунок 3.22 Пази під посадку сухарів

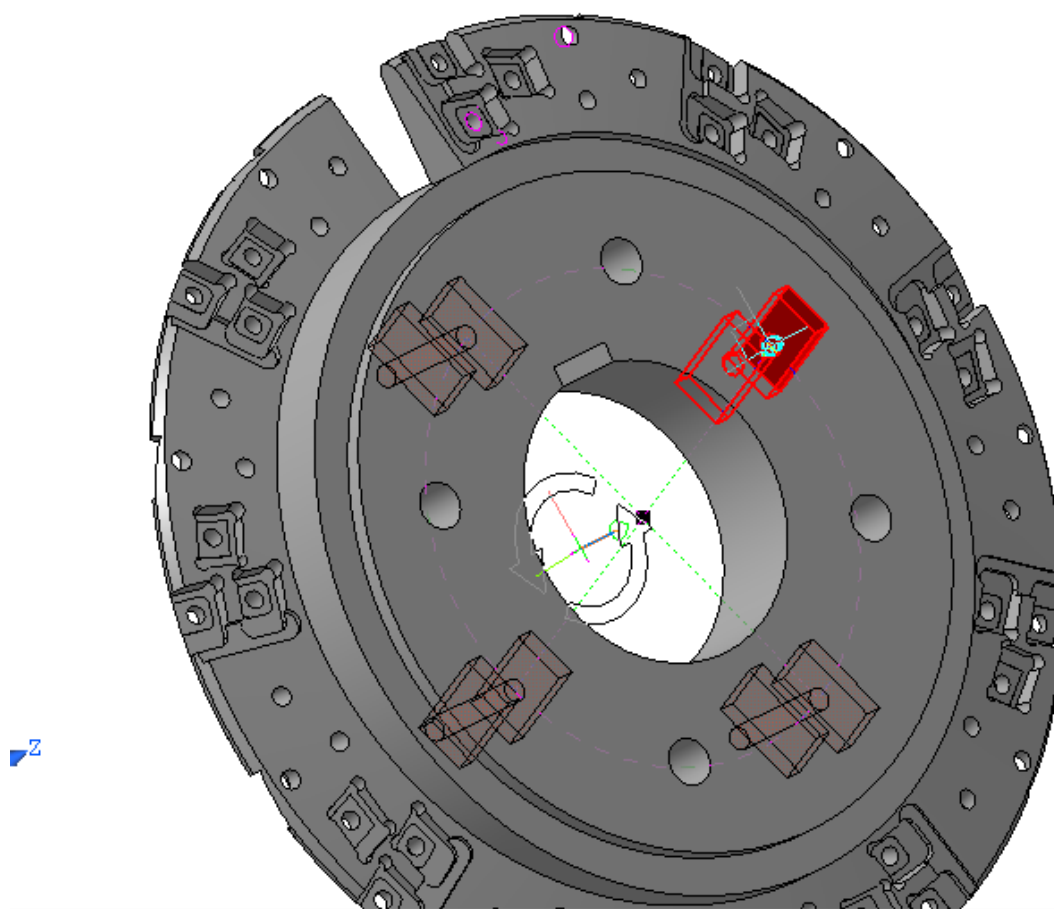


Рисунок 3.23 Масив пазів під сухарі

Виконавши всі описані операції ми отримуємо готову модель корпусу фрези (рис 3.24)

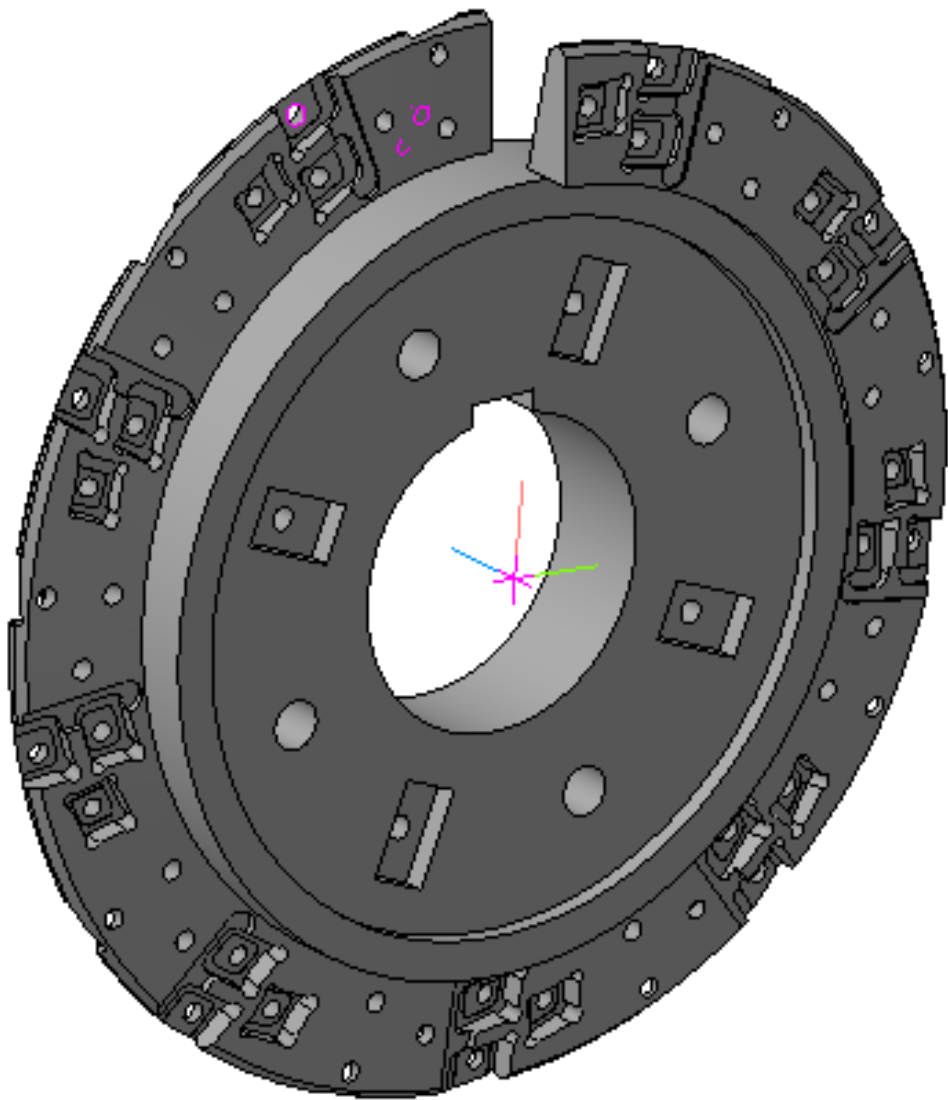


Рисунок 3.24 – Модель корпусу фрези

Після виконання побудови корпусу, робимо моделі інших складальних одиниць, створюємо модель в зборі (рис 3.25). Після цього, робимо робочі креслення корпусу (рис 3.26) фрези та інших складальних одиниць (Додаток Б), складальне креслення (рис 3.27).

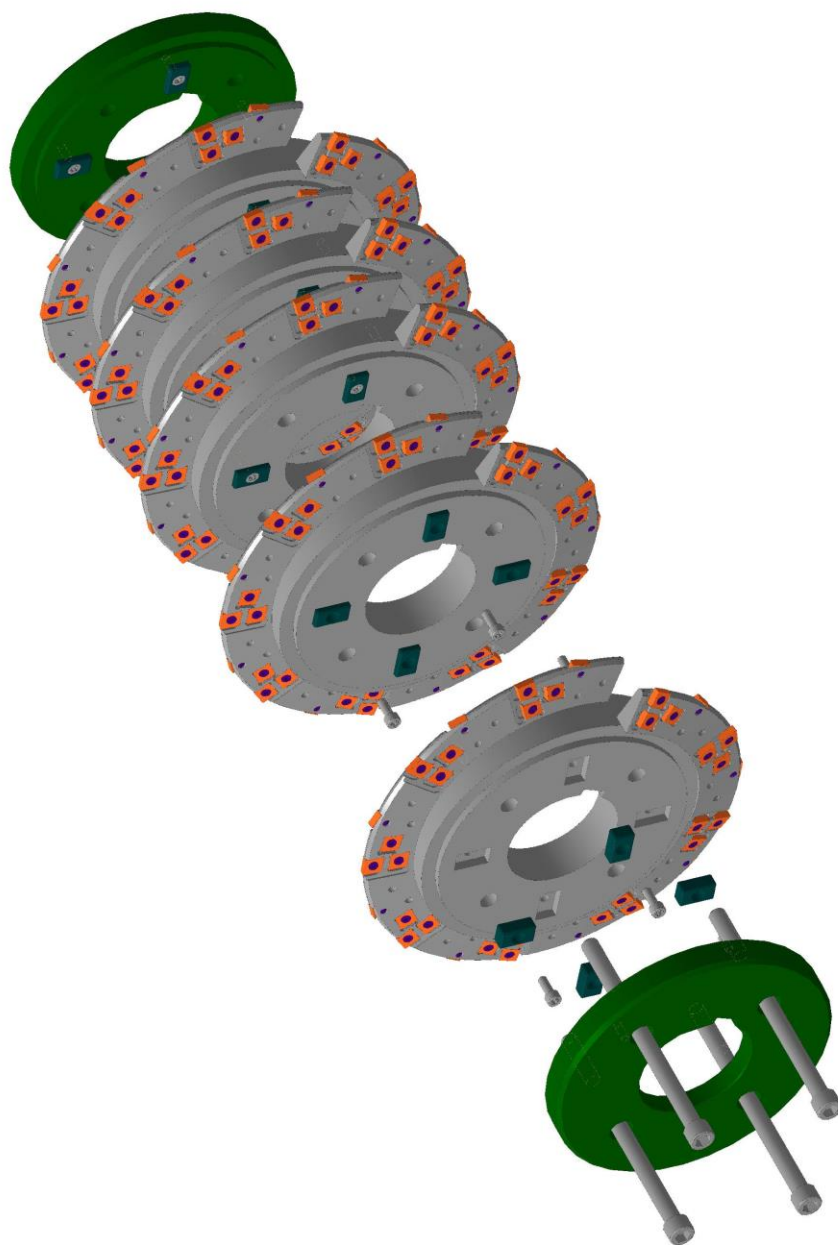


Рисунок 3.25 – Модель збірної черв'ячної фрези





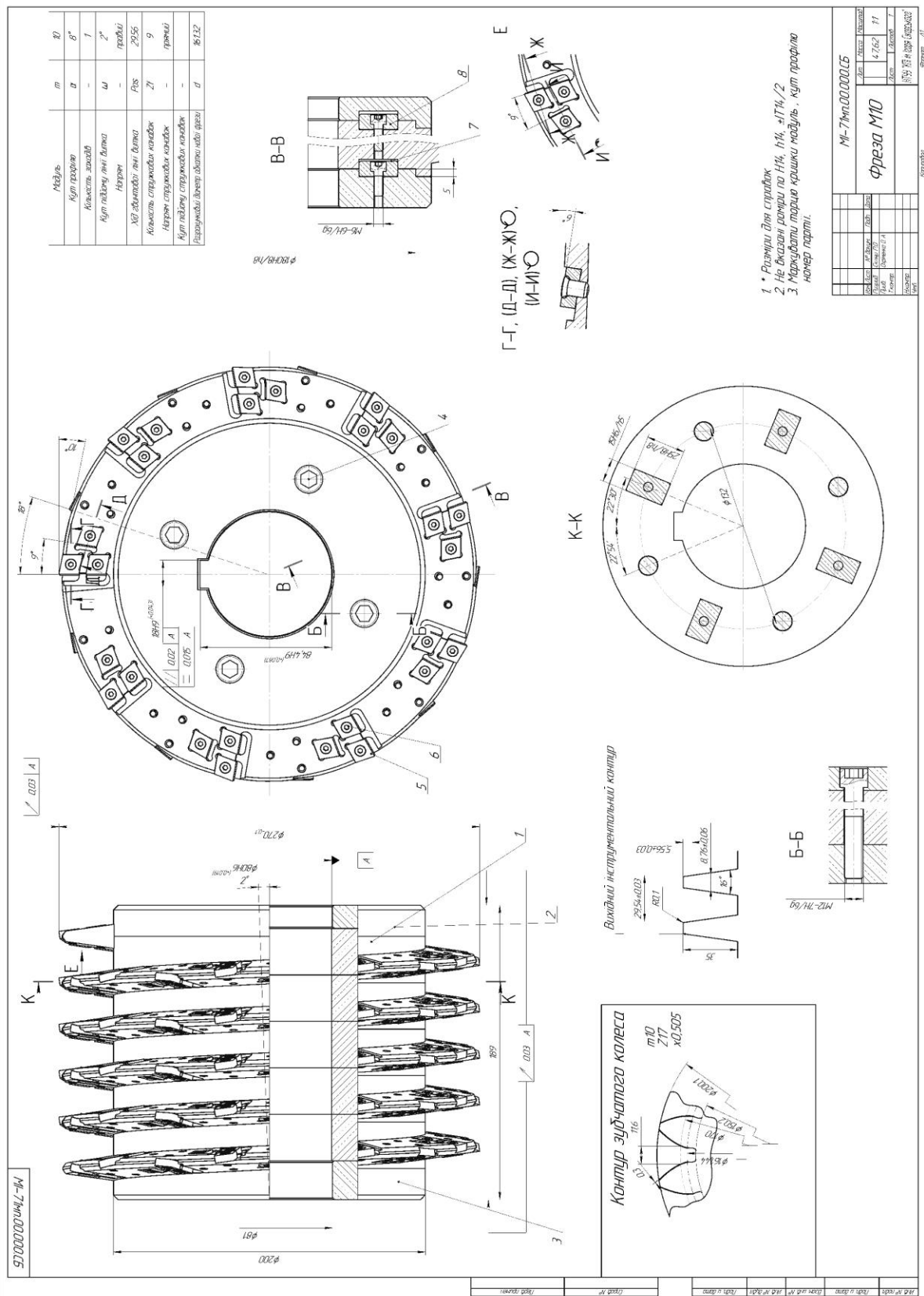


Рисунок 3.27 – Складальне креслення



Короткий технологічний процес виготовлення пазів під посадку сухарів в корпусі фрези:

Паз для посадки сухарів, в корпусі збірної черв'ячної фрези, відповідає за базування модулів корпусу між собою, саме тому до цього елемента фрези висунуті досить високі вимоги виконання при його виготовленні, адже від нього залежать такі фактори як:

1. Точність самої збірної фрези.
2. Якість отриманого профіля зуба колеса.
3. Жорсткість конструкції інструменту
3. Строк служби збірної черв'ячної фрези.

Виготовлюватись паз, буде методом електроерозійної обробки, по п'ятому класу точності (рис 3.26).

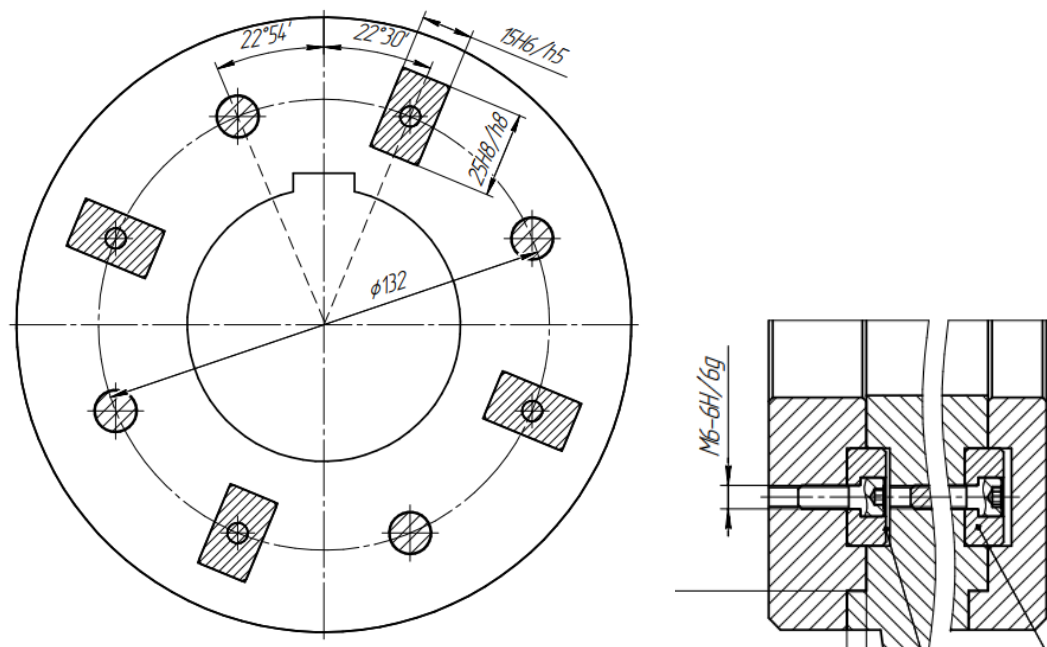


Рисунок 3.26 – Посадочні пази

## **Розділ 4. STARTUP: Збірна черв'ячна фреза зі твердосплавними пластинами стандартної форми**

В магістерській дисертації було проведено досліді впливу параметрів вихідного інструментального контуру з протуберанцем збірної черв'ячної фрези, на формоутворення профілю зуба колеса. Також були проведені розрахунки, конструкційних параметрів черв'ячної фрези. Такі фрези використовуються для нарізання зубчастих колі з модулем 10 для приводних зубчастих коліс тепловозів. У STARTUP проекті розглядається переваги та недоліки запропонованої конструкції збірної черв'ячної фрези зі стандартними твердосплавними пластинами, над аналогами які існують на ринку.

### ***Опис ідеї проекту***

Розроблену черв'ячну фрезу з даною схемою розташування стандартних пластин, будемо рекомендувати для виготовлення зубчастих коліс з модулем 10. В проекті для порівняння будуть розглядатися аналоги від такі виробників як «Sandvik Coromant», «Ingersoll», «LMT Fette». Ідея STARTUP в тому що завдяки нашій конструкції з використання стандартних пластин, вартість обслуговування прогресивного ріжучого інструмента буде значно нижчою, ніж у аналогів на ринку. Дані розрахунки наведенні в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Виробник	К-сть модулів	К-сть ріжучих пластин	Вартість кожної пластини	Сумарна вартість пластин
Sandvik Coromant	5	20	97\$	9700\$
Ingersoll	5	40	61\$	12200\$
LMT Fette	5	40	45\$	9000\$
Розроблена фреза	5	54	8\$	2160\$

Вирахувавши вартість твердосплавних пластин, можна зробити висновок, що експлуатація, та обслуговування запропонованої нами фрези, буде вигіднішою з економічної точки зору.

## ВИСНОВКИ

1. В роботі досліджено формоутворення реєчним інструментом профілю зубчастого колеса силової передачі тепловоза ТЄ10М з параметрами  $m = 10$  мм,  $Z_k = 17$ ,  $x = 0,505$ , яке призначене для подальшого зубошліфування.

2. Розроблено прикладні програми в середовищі Scilab що дозволяють досліджувати формоутворення реєчним інструментом профілю зубчастого колеса і автоматично формувати файл з координатами точок профілю зубчастого колеса призначеного для CAD систем з його автоматичної побудови в середовищі CAD.

3. Визначено вплив параметрів рейки з протуберанцем на профіль западини зубчастого  $m = 10$  мм,  $Z_k = 17$ ,  $x = 0,505$ , призначеного для подальшого зубошліфування.

4. Встановлено дослідженнями, що кут протуберанця  $5^\circ$  відповідно до креслення зубчастого колеса  $m = 10$  мм,  $Z_k = 17$ ,  $x = 0,505$ , не може бути призначений для вихідного інструментального контуру, так як формує граничну точку кривої западини вище допустимого діаметру активної довжини евольвенти колеса діаметром 164мм.

5. Дослідженнями встановлено що необхідний профіль западини під подальше зубошліфування можна отримати реєчним інструментом простої форми без протуберанця з кутом профілю  $0^\circ$ ,  $2^\circ$ ,  $8^\circ$ , проведено аналіз форми западини зубчастого колеса отриманими такими рейками.

6. На основі вихідного інструментального контуру простої форми з кутом профілю  $8^\circ$  розроблено збірну черв'ячну фрезу у якій різальна частина реалізована непереточуваними твердосплавними пластинами стандартної ромбічної форми на відміну від аналогів «Sandvik Coromant», «Ingersoll» де різальна частина реалізована пластинами спеціальної форми. Що забезпечує зменшення витрат на виготовлення та експлуатацію цього розробленого інструмента в порівнянні з аналогами.

## Перелік посилань

1. Б. Н. Сильвестров «Зубошлифовальные работы»; Высшая школа Москва, 1985.
2. И. А. Басс, В.И. Хатоновская «Червячные фрезы с протуберанцем»; Институт технической кибернетики Минск 1970.
3. Каталог Sandvik Comant «Решения для зубофрезерования Руководство»
4. Каталог Ingersoll «Обработка зубчатых передач».
5. Каталог «LMT Fette Gear Cutting - Tools and Knowledge»
6. О. И. Мойсеенко, Л.Е. Павлов, С.И. Диденко «Твердосплавные зуборезные инструменты»; Машиностроение Москва 1977.
7. О. А. Охріменко, Д. Ю.Джулій, С. В. Майданюк «Основи формоутворення поверхонь методичні вказівки до виконання лабораторної роботи» ММІ НТУУ «КП» 2017.
8. О. А. Охріменко «Основи формоутворення поверхонь методичні вказівки до виконання практичної роботи» ММІ НТУУ «КП» 2017.
9. В. Ф. Романов «Расчеты зуборезных инструментов» Машиностроение Москва 1969.
10. Кудрявцев В.Н. «Зубчатые передачи»; МАШГИЗ Москва, 1957. – 260с.
11. Равська Н.С. , Охріменко О.А., «Умови не підрізання профілю зубчастих коліс при зубофрезеруванні черв'ячними фрезами», Київ, 2014.
12. Охріменко О.А. «Загальні основи теорії проектування черв'ячних фрез», дис. докт. техн. наук : 05.03.01/ Охріменко О.А.. – Київ, 2016. – 302 с.
13. Манойлов О. В., Кріпак О. С., «Кінематична реалізація вдосконаленої схеми різання при зубофрезеруванні черв'ячними фрезами», Маріуполь, 2010.
14. Родин П. Р. «Основы проектирования режущих инструментов», Вища школа, Київ, 1990. — 424 с.
15. Юдін Є.М. «Шестеренные насосы», Машиностроение, Москва, 1964. – 233с.